

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в нефтехимии,
биотехнологии и химической технологии»
Отделение химической инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Моделирование процесса сепарации газа

УДК 665.622.2-047.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Хосоенова Регина Флоритовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Долганов Игорь Михайлович	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.ЭК.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова Ольга Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ОП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Отделение химической инженерии	Юрьев Егор Михайлович	К.Т.Н.		

Томск – 2018 г.

Планируемые результаты обучения

Код результат а	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,14,16,17,18), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11 ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-6,7,10,12,13,14,17 ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-11), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3)

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки Энерго- и ресурсосберегающие процессы химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии
 Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Юрьев Е. М.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Хосоеновой Регине Флоритовне

Тема работы:

Моделирование процесса сепарации газа	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1489/с от 5.03.2018 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	12.06.2018 г.
---	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Объект исследования – технология низкотемпературной сепарации газа. Сырьем процесса является природный газ. Режим работы – непрерывный</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Установка низкотемпературной сепарации предназначена для отделения газового конденсата от газа при низких температурах.</i></p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p><i>1. Литературный обзор;</i></p> <p><i>1. Основы технологии подготовки природного газа;</i></p> <p><i>2. Требования к качеству товарного газа;</i></p>

<p>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>3. Основные физико-химические свойства природного газа; 4. Методика расчета фазового равновесия; 5. Некоторые физико-химические показатели качества природного газа; 6. Программные продукты; II Экспериментальная часть. Разработка нестационарной математической модели процесса низкотемпературной сепарации газа; III. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; IV. Социальная ответственность; Заключение; Список использованной литературы.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Технологическая схема процесса низкотемпературной сепарации, чертеж трехфазного сепаратора, аналитические графики по данным, графики по модели</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Немцова Ольга Александровна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>9.02. 2018 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Долганов Игорь Михайлович	К.Т.Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Хосоенова Регина Флоритовна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Хосоеновой Регине Флоритовне

Школа	ИШПР	Отделение	Химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет затрат научно-исследовательского проекта составил 2274738285,78 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Учтены отчисления во внебюджетные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Проведение предпроектного анализа. Выполнение SWOT-анализа.
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Разработан календарный план проекта. Определён бюджет НИИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Спроектирована конкурентоспособная разработка, отвечающая требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения НИИ
4. Определение бюджета НИИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Хосоенова Регина Флоритовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К4А	Хосоевовой Регине Флоритовне

Школа	ИШПР	Отделение	Химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, биотехнологии и нефтехимии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования – технология низкотемпературной сепарации газа</p> <p>Область применения – нефтеперерабатывающая промышленность;</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>1.1 Нефть относится к 3 классу опасности; Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Повышенный уровень шума; – Повышенный уровень вибрации; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Повышенная загазованность рабочей зоны; <p>1.2 Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Электрический ток; – Опасность термических ожогов; – Пожароопасность; – Расположение рабочего места на высоте; – Механические опасности;
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу 	<p>- вредные вещества (метан, этан, пропан, бутан, пентан, азот, окись углерода, двуокись углерода, оксиды азота, метанол), которые выделяются или используются вовремя производства;</p> <p>- химическое загрязнение водотоков в результате</p>

<p>(сбросы);</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>удаления неорганических и органических отходов в канализационную сеть;</p> <ul style="list-style-type: none"> - выброс пожароопасных веществ в атмосферу в результате повышения температуры в аппаратах выше регламентного; - отходы; - разработаны решения по обеспечению экологической безопасности
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Перечень возможных ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Взрывы, пожары, разгерметизация трубопровода – Протечки в запорно-регулирующей арматуре или в аппаратах; – Сбой системы электроснабжения; – Увеличение содержания нефтепродуктов в подтоварной воде; – Унос нефти на УОГ; – Давление на приеме насоса ниже нормы. <p>При возникновении ЧС в первую очередь необходимо сообщить в пожарную охрану и скорую помощь.</p> <p>Прекращение подачи сырья;</p> <p>Отсечь аварийный участок;</p> <p>Переключение на резервную линию;</p> <p>Отцепить территорию лентой и выставить необходимые знаки.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 31.12.2014) -организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников шума и вибрации – сокращенная продолжительность рабочего времени – не более 36 часов; – ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск – не менее 7 календарных дней; – повышение оплаты труда – не менее 4% тарифной ставки (оклада).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику				
Задание выдал консультант:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К4А	Хосоенова Регина Флоритовна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 72 стр., 18 рис., 21 табл., 56 источников литературы, 3 прил.

Ключевые слова: НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СЕПАРАЦИЯ, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ, ИМИТАЦИОННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.

Объектом исследования является технология низкотемпературной сепарации газа.

Цель работы – повышение эффективности работы установки низкотемпературной сепарации газа с применением имитационной динамической модели.

В работе выполнен анализ основных процессов и факторов, влияющих на работу установки низкотемпературной сепарации. На основе существующих математических моделей основных физических процессах, протекающих в аппаратах, был предложен комплексный математический аппарат, способный описывать данный процесс.

Основной метод, применяемый в работе – метод математического моделирования. Модель объекта строилась с учетом физико-химических закономерностей протекания процесса.

Областью применения модели является нефтегазовая промышленность.

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2016.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 5542-14. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия [Текст]. – введ. 01.07.2015. – М.: Издательство стандартов, 2014. – 11 с.

ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения [Текст]. - введ. 01.01.1995.- М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.

Обозначения и сокращения

НТС – низкотемпературная сепарация;

ТТР – температура точки росы;

СТО – стандарт организации;

ГОСТ – государственный стандарт;

ГПП – газы горючие природные;

УДСК – установка деэтанзации и стабилизации конденсата;

Оглавление	
Введение.....	13
I. Литературный обзор.....	15
1. Основы технологии подготовки природного газа.....	15
2. Требования к качеству товарного газа	16
3. Основные физико-химические свойства природного газа.....	16
4. Методика расчета фазового равновесия.....	18
5. Некоторые физико-химические показатели качества природного газа.	19
5.1 Гидраты. Физические свойства гидратов.....	19
5.2 Влияние физико-химических характеристик на образование газогидратов. Температура, давление.....	21
5.3 Методика расчета расхода ингибитора.....	24
6. Программные продукты.....	26
II. Экспериментальная часть	28
1. Расчет расхода метанола.....	28
2. Расчет влияний физико-химических параметров на температуру точки росы по воде	30
3. Разработка имитационной динамической модели	31
4. Моделирование процесса низкотемпературной сепарации	34
4.1 Изменение основных технологических параметров в аппаратах перед сепаратором третьей ступени	36
5. Проектирование разделителя жидкости второй ступени процесса низкотемпературной сепарации	40
5.1 Технологический расчет разделителя жидкости	40
III. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	45
1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	46
1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	46
1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	47
1.3 SWOT-анализ.....	49

2. Планирование научно-исследовательских работ	53
2.1 Структура работ в рамках научного исследования	53
2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	54
2.3 Разработка графика проведения научного исследования	55
3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	58
3.1 Расчет материальных затрат НТИ	58
3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	59
3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	60
3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	61
3.5 Отчисления во внебюджетные фонды	62
3.6 Накладные расходы	62
3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	62
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	63
IV. Социальная ответственность	66
Введение	66
4.1 Характеристика вредных факторов производственной среды	68
4.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны	69
4.3 Повышенный уровень шума	71
4.4 Повышенный уровень вибрации	72
4.5 Отклонение показателей микроклимата в помещении	72
4.5 Анализ опасных факторов производственной среды	74
4.5.1 Механические опасности	74
4.6 Электробезопасность	75
4.7 Термические опасности	75
4.8 Пожаровзрывобезопасность	76
4.9 Экологическая безопасность	77
4.10 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	79
4.11 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	82
Заключение	84

Список используемых источников	85
Список публикаций.....	91

Введение

В последнее время стала актуальной задача переработки нефтяного газа, получаемого при добыче нефти. Данная тенденция объясняется рядом причин: ростом добычи нефти и газа, ужесточением экологических норм, постепенным истощением запасов и т.д.

Подготовленный природный и попутный газ используется в качестве топлива для бытовых нужд и для получения дешевой электроэнергии.

Также природный газ можно использовать для получения так называемого синтез-газа (смеси CO и H₂), который используется во многих органических синтезах.

Одной из основных задач в России и ряда других стран является борьба с мифом о том, что газопереработка это сложно, долго и дорого. Удивительно, но на проекты, которые в США реализуются за 10 месяцев, на территории СНГ уходит до трех лет. Установки, занимающие в США 5000 м², на территории СНГ с трудом умещаются на 20 000 м². Проекты, окупающиеся в США за 3-5 лет, даже при существенно более низкой стоимости реализации продукта, на территории России и Казахстана не окупаются никогда [1].

Российская экономика остро нуждается в диверсификации, а также увеличении глубины переработки сырья. В последние годы Россия является мировым лидером по добыче нефти и газа, но при этом переработка углеводородов не соответствует объемам производства.

В будущем природный газ может стать главным решением глобальной проблемы для дальнейшего существования цивилизации, который обеспечивает стабильное энергообеспечение мира. На основе природного газа получают различные вещи, начиная с получения красок, уксуса, удобрения, заканчивая топливом, энергией и многим другим.

Один из основных методов подготовки природного газа - низкотемпературная сепарация (НТС), сущность которой состоит в

извлечении жидких углеводородов из газов путем однократной конденсации при пониженных температурах от минус 10 до минус 25°С с газогидромеханическим разделением равновесных газовой и жидкой фаз.

С помощью установки подготовки природного газа (УППГ) газ подготавливают до требуемых характеристик (повышение качества подготовки газа к транспорту, для обеспечения эффективной и надежной работы установок подготовки и переработки газа) [2].

Целью данной работы является моделирование работы трехфазного сепаратора газа и газового конденсата в динамическом режиме. Расчет показателей качества полученного продукта.

I. Литературный обзор

1. Основы технологии подготовки природного газа

Сырьем для газоперерабатывающих заводов является пластовая смесь газовых и газоконденсатных месторождений, состоящая в общем виде из природного газа, газового конденсата и пластовой воды. Назначение газоперерабатывающих заводов – это разделение пластовой смеси и последующая переработка газа и конденсата с применением абсорбционных, адсорбционных, хемосорбционных, конденсационных и других процессов [3].

Продукция, вырабатываемая на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ) и газопромысловых установках (ГПУ), условно подразделяется на пять групп. В первую группу входят газовые смеси, используемые как топливо. Основным компонентом в них является метан. В качестве компонентов в состав смесей входят также другие углеводороды, диоксид углерода, азот, сернистые соединения, суммарное содержание которых достигает нескольких процентов. Содержание сернистых соединений в газовых топливных смесях регламентируется, а содержание углеводородов – нет. Вторая группа включает в себя газообразные технические чистые углеводороды (этан, пропан, бутаны) и гелий, а также смеси газовых компонентов определенного состава. Третья группа состоит из углеводородов, относящихся ко второй группе, но в сжиженном виде, жидкого гелия и широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ). Общим признаком газов этой группы является то, что в жидком состоянии при 20 °C они находятся при определенном избыточном давлении. В четвертую группу входят продукты, находящиеся в нормальных условиях в жидком состоянии, такие как газовый конденсат и продукты его переработки. К пятой группе относятся твердые продукты переработки природного газа – технический углерод и газовая сера. Все продукты, входящие в состав вышеперечисленных групп, отличаются углеводородным составом,

содержанием в них воды, механических примесей, диоксида углерода и сернистых соединений, температурами кипения и застывания и др [4].

2. Требования к качеству товарного газа

В настоящее время товарные газы, подаваемые в магистральные газопроводы, должны отвечать требованиям ОСТ 51.40, основные из которых приведены в табл. 1.1 приложение А.

При установлении показателей качества газов за основу взяты следующие условия:

- газ при транспортировании не должен вызывать коррозию трубопроводов, арматуры, приборов и др. (содержание механических примесей, сероводорода, тиоловой (меркаптановой) серы и кислорода);
- качество газа должно обеспечивать его транспортирование в однофазном газообразном состоянии (точки росы газа по влаге и углеводородам);
- товарный газ не должен вызывать осложнений у потребителя при его использовании [5].

3. Основные физико-химические свойства природного газа

При проведении научно-исследовательских работ, проектировании и эксплуатации технологических процессов переработки природного газа и газового конденсата необходимо знание основных физико-химических характеристик сырья и продуктов его переработки.

Одной из важнейших физико-химических характеристик природного газа является его компонентный состав, т. е. содержание в газе углеводородных и неуглеводородных компонентов в массовых, объемных или мольных процентах, или долях. По компонентному составу газа определяются направления его дальнейшей переработки и применения, а также такие характеристики, как плотность, теплота сгорания (низшая и высшая), молекулярная масса, число Воббе и др.

Абсолютная плотность – это масса единицы объема вещества, она измеряется в кг/м^3 . Относительная плотность – это отношение массы единицы объема вещества к массе той же единицы объема другого вещества. Относительная плотность является величиной безразмерной. Знание плотности необходимо для проведения целого ряда инженерных расчетов в химической технологии переработки нефти и газа (определение массы жидкостей и газов в заданных объемах, определение расхода продуктов, расчет трубопроводов и т. д.). Плотность чистых веществ и их смесей используется при расчете других их теплофизических свойств. Абсолютную плотность газа в лабораторных условиях определяют пикнометрическим способом по ГОСТ 17310. Однако на практике зачастую используют нижеприведенные расчетные методы [6,7].

Молекулярная масса компонентов газа определяется по их химической формуле с учетом атомных масс входящих в их молекулы элементов. Определение молекулярной массы смеси газов целесообразно проводить по правилу аддитивности.

Для проведения ряда теплотехнических расчетов процессов и аппаратов газоперерабатывающей промышленности (определение тепловых потоков, составление тепловых балансов, расчет процессов конвективного теплообмена и т. п.) необходимо знание энтальпии (теплосодержания) отдельных компонентов и фракций газа и газового конденсата, и их смесей в газообразном и жидком состояниях. Энтальпия идеального газа зависит только от температуры, энтальпия реальных газов и жидкостей – и от давления. При расчетах энтальпии реальных газов и жидкостей вначале определяют «идеальногазовую» энтальпию, а затем вводят поправку, учитывающую отклонение от энтальпии идеального газа.

Константы фазового равновесия (КФР) используются в инженерных расчетах для решения следующих основных задач:

1. Определение состава равновесных фаз и доли отгона по заданным давлению, температуре и составу исходной смеси.

2. Определение состава одной из равновесных фаз по заданным давлению, температуре и составу второй равновесной фазы.

3. Определение температуры начала кипения по заданным давлению и составу жидкой фазы.

4. Определение температуры конца кипения или начала конденсации по заданным давлению и составу паровой или газовой фазы [6].

4. Методика расчета фазового равновесия

Вычисление констант фазового равновесия пар-жидкость многокомпонентных газов является центральной теоретической задачей исследования процессов конденсации и испарения реальных газовых смесей, необходимых при низкотемпературной сепарации газа. Расчет фазового равновесия пар-жидкость подразумевает определение компонентных составов обеих фаз в требуемой точке р-Т фазовой диаграммы.

Для вычисления констант фазового равновесия K_i используется метод последовательных приближений к решению математической задачи, состоящей из нескольких этапов:

I. Нахождение общей доли пара. Используя значения z_i и K_i , рассчитывается общая доля пара ϕ из уравнения Рашфорда – Райса:

$$\sum_{i=1}^n \frac{z_i * (K_i - 1)}{1 + \phi * (K_i - 1)} = 0, \quad (1.1)$$

Где n - количество компонентов в системе.

II. Нахождение мольных долей компонентов y_i и x_i для пара и жидкости:

$$x_i = \frac{z_i}{(1 + \phi * (K_i - 1))}, y_i = K_i * x_i. \quad (1.2)$$

III. Нахождение коэффициентов сжимаемости Z_v и Z_l для пара и жидкости.

IV. Нахождение коэффициентов летучести Φ_v и Φ_l для пара и жидкости.

V. Находим константы фазового равновесия K_i по формуле:

$$K_i = \frac{\Phi_{li}}{\Phi_{vi}} \quad (1.3)$$

Таким образом, предложенный выше алгоритм расчета фазового равновесия пар-жидкость для многокомпонентных газов представлен в деталях, достаточных для составления расчетной подпрограммы. Результаты расчета на основе разработанного алгоритма достаточно достоверны.

В ходе выполнения данной задачи нужно решить кубическое уравнение (СКР) для газовой $Z_v^3 - Z_v^2 + Z_v(A_v - B_v - B_v^2) - A_v B_v = 0$ и жидкой $Z_l^3 - Z_l^2 + Z_l(A_l - B_l - B_l^2) - A_l B_l = 0$ фаз; определить коэффициенты фугитивности и рассчитать константы фазового равновесия для газа и жидкости. Дальнейшими действиями нужно написать программы в Delphi7 и составить схемы низкотемпературной сепарации газа.

Такого рода программа незаменима в расчетах реальных процессов, происходящих в газовых сепараторах, в перфорированных зонах газоконденсатных скважин, в агрегатах газоперерабатывающих заводов, при расчете аварийных ситуаций на газотранспортной сети и т.п.

5. Некоторые физико-химические показатели качества природного газа.

5.1 Гидраты. Физические свойства гидратов

В газовой промышленности под гидратами принято понимать вещества, состоящие из микромолекул и воды.

Гидраты – это твердые кристаллические соединения, образованные водой и микромолекулами.

Характеристики физических свойств играют важную роль при проектировании технологических процессов. Это справедливо также и для процессов, в которых участвуют газовые гидраты [7].

Исследование свойств гидратов осложняется тем, что эти свойства зависят от 1) типа гидрата; 2) молекулы – гостя, заполняющей полость

решетки; 3) степени заполнения полостей (следует помнить, что гидраты нестехиометричны).

○ **Молярная масса.**

Молярную массу (молекулярный вес) гидрата можно определить, исходя из его кристаллической структуры и степени заполнения полостей.

Молярная масса гидрата M вычисляется по формуле:

$$M = \frac{N_w M_w + \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^n Y_{ij} v_i M_j}{N_w + \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^n Y_{ij} v_i} \quad (1.4)$$

○ **Плотность.**

Плотность гидрата ρ можно рассчитать по формуле:

$$\rho = \frac{N_w M_w + \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^n Y_{ij} v_i M_j}{N_A V_{cell}} \quad (1.5)$$

Можно заметить, что плотность гидратов углеводов приблизительно равна плотности льда. У гидратов двуокиси углерода и сероводорода плотность значительно больше. Фактически они тяжелее воды.

○ **Энтальпия плавления.**

Еще одной важной характеристикой является энтальпия плавления (иногда называемая теплотой образования). По этому показателю можно рассчитать количество теплоты, необходимое для разложения гидрата.

○ **Теплоемкость.**

Экспериментальные данные по теплоемкости гидратов ограничены

В узком температурном интервале, допускающем возможность существования гидратов, можно с достаточной уверенностью принимать эти значения постоянными.

○ **Теплопроводность.**

Теплопроводность — это перенос теплоты структурными частицами вещества (молекулами, атомами, электронами) в процессе их теплового движения.

Свойства теплопроводности гидратов исследовались в ограниченных масштабах, однако было установлено, что гидраты обладают значительно меньшей теплопроводностью, чем лед. Теплопроводность льда составляет 2,2 Вт/м*К, тогда как гидраты углеводородов имеют теплопроводность в диапазоне $0,50 \pm 0,01$ Вт/м*К.

○ ***Механические свойства.***

Механические свойства гидратов в целом близки к свойствам льда.

При отсутствии дополнительной информации можно с уверенностью принимать механические свойства гидрата равными соответствующим значениям для льда. Не следует считать, что гидраты представляют собой мягкую, податливую массу. Гидратные пробки могут по твердости не уступать льду. Сорвавшаяся гидратная пробка, двигаясь с большой скоростью по трубопроводу, может причинить значительные повреждения [7,8].

5.2 Влияние физико-химических характеристик на образование газогидратов. Температура, давление.

Основными факторами гидратообразования являются влажность газа, его состав, давление и температура в газопроводе.

Как известно, условиями образования газогидрата являются, во-первых, наличие гидратообразователя, каковым является природный газ содержащий, влагу; во-вторых, низкая температура и высокое давление газа [9].

Техногенные газовые гидраты могут образовываться в системах добычи газа: в призабойной зоне, в стволах скважин, в шлейфах и внутрипромысловых коллекторах, в системах промысловой и заводской подготовки газа, а также в магистральных газотранспортных системах. В технологических процессах добычи, подготовки и транспорта газа твердые газовые гидраты вызывают серьезные проблемы, связанные с нарушением протекания этих процессов.

Отечественными и зарубежными исследователями были изучены условия образования гидратов, их структура и разработаны меры борьбы с ними. Рентгенографическое исследование природы гидратов показано, что они образуют две основные структурные формы. Газовые гидраты имеют кристаллическую решетку, образуемую молекулами воды. Полости решетки поглощены углеводородами [9,10].

Изучение кинетики образования гидратов представляет научный и практический интерес, поскольку знание скорости их образования позволит определить частоту подачи ингибитора в скважины или газопроводы. Однако в литературе имеется очень мало работ по кинетике образования гидратов в динамических условиях, характеризующих реальные условия выделения гидратов в трубопроводах и аппаратах.

Известно, что скорость образования гидратов при контакте природного газа с водой увеличивается с понижением температуры и повышением давления. Большое влияние на скорость гидратообразования оказывают и условия массопередачи. Если гидратообразователь не растворяется в воде, преобладающее влияние на скорость образования гидрата оказывает абсорбция гидратообразователя водой — массопередача. В тех случаях, когда гидратообразователь хорошо растворим в воде, преобладающим фактором является интенсивность отвода тепла — теплопередача.

Анализ зависимости времени перехода природного газа в гидратную решетку от давления при разных температурах показывает, что с увеличением давления и понижением температуры повышается скорость образования гидрата, однако при низких температурах, повышение давления мало влияет на процесс гидратообразования.

Для предупреждения образования гидратов в потоке газа необходимо устранить хотя бы одно из основных условий существования гидратов: высокое давление, низкую температуру или свободную влагу. В связи с этим основными методами борьбы с гидратами являются понижение давления, повышение температуры, осушка газа или ввод антигидратных ингибиторов.

При образовании гидратов в стволе скважины понижение давления ниже начала гидратообразования возможно лишь при продувке скважины в атмосферу. Таким образом, это аварийный метод, который применим в ограниченных масштабах лишь для ликвидации уже образовавшихся гидратных пробок. Регулярное применение этого метода при добыче газа недопустимо. Методы повышения температуры газа в стволе скважины путем подогрева различными забойными нагревателями и при помощи теплоизоляции части ствола скважины в настоящее время находятся еще в стадии промышленных испытаний. Осушка газа внутри скважины в настоящее время вообще неприменима. Поэтому на сегодняшний день самым распространенным и действенным методом остается применение различных ингибиторов [11].

Присутствие азота в природном газе понижает температуру образования гидратов, а наличие сероводорода и диоксида углерода повышает температуру гидратообразования природного газа.

Ингибиторы гидратообразования вводятся в поток газа на забой скважины без изменения температуры и давления газа в стволе скважины. Растворяясь в воде, имеющейся в потоке газа, ингибиторы снижают давление паров воды. При этом если гидраты и образуются, то при более низкой температуре, чем в чистой воде. Ввод ингибиторов на уже образовавшиеся отложения гидратов также снижает давление паров воды, равновесие гидрат — вода нарушается, упругость паров воды над гидратом оказывается большей, чем над водным раствором, что и приводит к разложению гидратов.

Определяющими критериями при выборе того или иного ингибитора гидратообразования в условиях добычи газа на Севере являются: способность понижать равновесную температуру гидратообразования, стоимость, растворимость в воде и температура замерзания водных растворов, вязкость и поверхностное натяжение, летучесть паров, взаиморастворимость с газом и конденсатом, а также возможность

регенерации ингибиторов в промышленных условиях с малыми потерями, особенно при высокой стоимости ингибиторов.

Одним из основных критериев для выбора ингибитора является величина понижения равновесной температуры Δt , °С. Для метанола гликолей величину Δt определяют по уравнению Гаммершмидта.

Очень резкое снижение температуры гидратообразования природных газов обеспечивает аммиак, но его применение в качестве ингибитора исключено, так как с углекислым газом, имеющимся в тех или иных количествах в газах любого месторождения, водные растворы аммиака образуют твердые отложения карбонатов аммония, еще более плотных, чем гидратные пробки.

Основными ингибиторами гидратообразования, применяемыми в производстве, являются: гликоли (этиленгликоль (ЭГ), диэтиленгликоль (ДЭГ) и триэтиленгликоль (ТЭГ)), метанол, этилкарбитол (ЭК), раствор хлористого кальция и другие.

5.3 Методика расчета расхода ингибитора

Практический интерес представляют исследования, показавшие влияние незначительной добавки (0,5–2,0% мол.) некоторых органических соединений, таких, как этиленгликоль, метанол, этанол и пропанол и др., на ускорение процесса образования гидратов. Например, с увеличением содержания метанола в водно-метанольном растворе количество пропана в смеси проходит через максимум. Характерно, что с увеличением времени образования гидрата максимум возрастает (рис. 1).

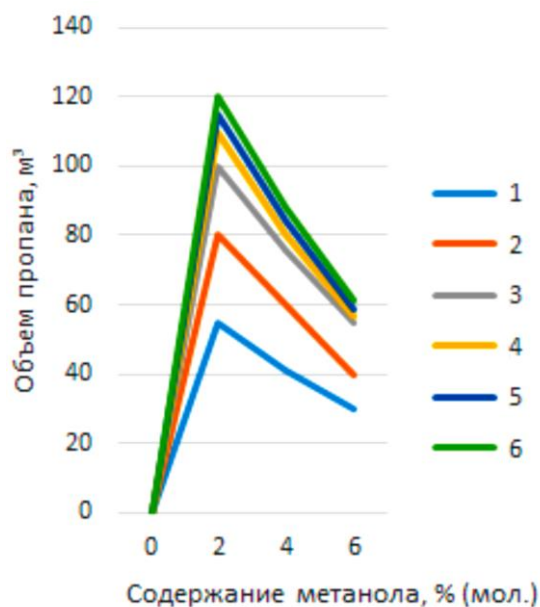


Рисунок 1– Влияние метанола на объем пропана, связанного в гидрат

Применяемые ингибиторы (метанол CH_3OH , этиленгликоль, диэтиленгликоль, триэтиленгликоль, 30% -ный раствор хлористого кальция и. т. д.) процессов гидратообразования способствуют снижению температуры гидратообразования. Необходимый расход ингибитора можно вычислить по следующей формуле:

$$q = (W_1 - W_2) * C_2 / (C_1 - C_2), \text{ кг/1000 м}^3 \quad (1.6)$$

где W_1, W_2 - содержание влаги в газе до и после ввода ингибитора, г/ м^3 газа;

C_1, C_2 - массовая концентрация свежего и отработанного ингибитора, %.

Для расчета количества метанола нужно задать начальные и конечные давление и температуру газа в газопроводе и количество газа, которое транспортируется по газопроводу. Также рассчитать относительную плотность газа по воздуху.

Далее, используя номограмму 1 (приложение А), определяют количество влаги в начале и конце газопровода W_1 и W_2 соответственно.

Температура начала образования гидратов определяют из графика 1 (приложение А), а величину понижения равновесной температуры Δt , определяют по рисунку.

По данному графику находят концентрацию ингибитора при Δt , % масс.

По уравнению (1.6) определяют удельный расход ингибитора.

Определяют количество ДЭГ следующим образом:

Определяют начальную концентрацию ДЭГ C_1 . Далее для Δt по графику 1 определяют концентрацию отработанного ДЭГ C_2 , которую нужно поддерживать для указанной величины снижения температуры начала образования гидратов. По уравнению (1.6) определяем удельный расход гликоля [11,12,13].

6. Программные продукты

Разработать современные процессы переработки природного газа и эксплуатировать действующие установки, невозможно без использования программ моделирования, обладающие высокой точностью описания параметров процессов. Кроме этого программы позволяют проводить исследования данных процессов без больших временных и материальных затрат.

Система моделирования включает в себя разнообразные методы расчета термодинамических свойств, таких как энтропия, энтальпия, плотность, коэффициент фазового равновесия, растворимость в жидкостях твердых веществ и газов и многое другое.

В монографии описано огромное количество методов [14]. В большинстве случаев при моделировании процессов переработки нефти и газа используются уравнения состояния Соава-Редлиха-Квонга [15] и Пенга-Робинсона [16]. Такие методы предоставляют возможность решать многие технологические проблемы, которые возникают при моделировании процессов газопереработки [17].

HYSIM и HYSYS.

Данные программные продукты позволяют рассчитать в основном все основные процессы нефтехимии, нефтепереработки и газопереработки. Здесь акцентируется момент на работу с использованием уравнением состояния Пенга-Робинсона.

HYPROP – дополнительный пакет, который позволяет более эффективно обрабатывать экспериментальные данные по свойствам чистых компонентов и в дальнейшем использовать полученные корреляции в расчетах [18].

PROVISION И PRO II.

Эти достаточно популярные программные продукты разработаны фирмой Simulation Sciences, Inc. В данных программах заложены возможности моделирования практически всех химических и нефтехимических производств. Существует возможность проведения гидравлических расчетов различных сепараторов, реакторов, насадочных и тарельчатых ректификационных колонн [19].

GIBBS.

Среди российских программ нельзя не упомянуть и разработку GIBBS.

В 1992 году, фирма “ТопЭнергоБизнес” разработала этот моделирующий пакет. Он представляет моделирование процессов промышленной подготовки природных газов, включая установки низкотемпературной сепарации и заводы низкотемпературной конденсации (детандерные) с частичным или полным фракционированием жидких углеводородов, впрыскивающие процессы обработки газа, сбор и регенерация ингибиторов гидратообразования, промышленную и заводскую подготовку и переработку газоконденсата и нефти, включая дегтанизацию, стабилизацию и фракционирование по топливному варианту, газофракционирование [20,21].

II. Экспериментальная часть

1. Расчет расхода метанола

Метанол смешивается во всех отношениях с водой, при смешении с водой происходит сжатие и разогревание. Метанол с водой не образует азеотропной смеси, в результате чего смеси вода-метанол могут быть разделены ректификационной перегонкой. Метанол — опаснейший яд, приём внутрь порядка 10 мл метанола может приводить к тяжёлому отравлению, попадание в организм более 80–150 миллилитров метанола (1–2 миллилитра чистого метанола на килограмм тела) обычно смертельно [22,23].

Рассчитаем количество метанола для следующих условий движения газа по газопроводу: начальные давление газа в газопроводе 6,08 МПа (60 атм.) и температура +15 °С, конечные давление 4,56 МПа (45 атм.) и температура 0 °С; количество газа, транспортируемого по газопроводу, равно 5 млн. м³/сут. Относительная плотность газа по воздуху 0,7.

Согласно номограмме, количество влаги в начале газопровода $W_1 = 0,3$ г/м³, количество влаги в конце газопровода $W_2 = 0,15$ г/м³. Разность $W_1 - W_2$ даст количество воды, конденсирующейся на каждом м³ газа:

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 0,3 - 0,15 = 0,15 \text{ г/м}^3 \quad (2.1)$$

Температура начала образования гидратов определяется из рисунка 1 (приложение А). Для нашего случая она будет +7°С. Величина понижения равновесной температуры Δt , определяется по графику 1 (приложение А), для метанола составит:

$$\Delta t = 7 - 0 \text{ °С} = 7 \text{ °С}$$

По графику находим, что для $\Delta t = 7 \text{ °С}$ концентрация отработанного метанола равна 16% масс.

По уравнению (1.6) определяем удельный расход метанола:

$$q = 0,15 * 16 / (100 - 16) = 0,03 \text{ кг на } 1000 \text{ м}^3 \quad (2.2)$$

Суточный расход составит $q_{\text{сут}} = 0,03 * 5000 = 150 \text{ кг}$ (2.3).

Определим количество ДЭГ, которое следует ввести в поток газа для предотвращения образования гидратов при условиях, рассмотренных выше.

Начальная концентрация ДЭГ $C_1 = 85\%$. Для $\Delta t = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ по графику определяем $C_2 = 25\%$ – концентрацию отработанного ДЭГ, которую надо поддерживать для указанной величины снижения температуры начала образования гидратов. По уравнению определяем удельный расход гликоля:

$$q = 0,15 * 25 / (85 - 25) = 0,06 \text{ кг на } 1000 \text{ м}^3 \text{ (2.4)}$$

Суточный расход ДЭГ составит:

$$q_{\text{сут}} = 0,06 * 5000 = 312,5 \text{ кг} \text{ (2.5)}$$

Рассчитываем расход метанола при различных значениях понижения равновесной температуры (рис.2).

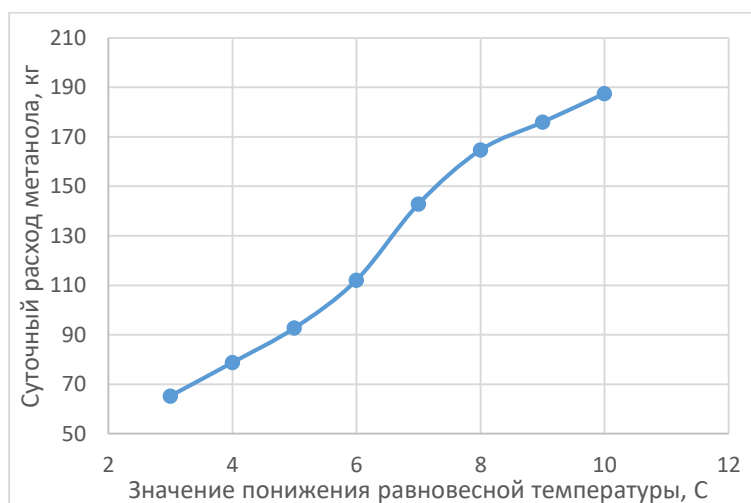


Рисунок 2 – зависимость суточного расхода метанола от значений понижения равновесной температуры

Из графика можно сказать, что при большей разности температур количество метанола резко увеличивается. При Δt равным $3 \text{ }^\circ\text{C}$ $q=65,2 \text{ кг/сут}$, а при $\Delta t=10$ расход равен $187,5 \text{ кг/сут}$, следовательно, процесс образования гидратов усиливается. Это говорит о том, что нужно жестко контролировать значение понижения равновесной температуры.

Подытоживая, можно сказать, что метанол — проверенный и надежный ингибитор гидратообразования — производится в больших количествах, но сравнительно дорог. Метанол чрезвычайно ядовит и поэтому требования техники безопасности часто исключают оперативность при его применении. В настоящее время метанол безвозвратно теряется в виде водного раствора. Тем не менее установлено, что около 50% метанола, вводимого в газ, выпадает в сепараторах и отделяется от конденсата в виде 20%-ного водного раствора, а при температуре сепарации минус 15 °С в сепараторах должно выпадать около 80% введенного метанола.

2. Расчет влияний физико-химических параметров на температуру точки росы по воде

Для изучения еще одного из физико-химических показателей качества природного газа, то есть температуры точки росы по воде (ТТР_в), был рассмотрен «ГОСТ Р 53763-2009 Газы горючие природные. Определение температуры точки росы по воде», в котором установлены требования к выполнению измерений температуры точки росы по воде различными методами в газах горючих природных. Изучив данный документ, была найдена формула для расчета значений ТТР t_x в зависимости от значения массовой концентрации паров воды β_v в диапазоне абсолютных давлений P_3 от 2,0 до 10,0 МПа:

$$t_x = \frac{1}{-0.0001956 \ln(P_3) + 0.004647} + (-0.1495P_3 + 6.938) \ln(\beta_v) + 0.4316P_3^{0.28}(\ln(\beta_v)^2) - 273.15 \quad (2.6)$$

Используя данную формулу, были получены следующие значения ТТР с диапазоном влагосодержания β_v от 5 мг/м³ до 80 мг/м³ с шагом в 5 мг/м³ и давления P_3 от 3 МПа до 10 МПа с шагом в 1 МПа (табл.2, приложение Б).

По полученным значениям был построен график изменения значений ТТР по воде в координатах: ТТР (°С), давление (МПа) и влажность (мг/м³) (Приложение Б).

Есть и еще одна очень важная деталь – это наличие такого параметра, как температура точки росы по тяжелым углеводородам, который характеризует присутствие в газе диэтиленгликоля и метанола в паровой фазе. Существует довольно мало анализаторов точки росы, позволяющих одновременно определять и температуру точки росы по влаге и температуру точки росы по тяжелым углеводородам. Доказано, что при определенных температурах данный параметр вносит существенные погрешности в измерения в случае, если функционал анализатора не позволяет измерять температуру точки росы по углеводородам вкупе с температурой точки росы по влаге [24,25,26].

Итак, основная проблема, существующая на предприятиях газовой промышленности – получение газа, пригодного к транспортировке и эксплуатации. В большей степени на это влияет присутствие в продукте жидкости в паровой фазе, или влажность. Этот параметр так важен из-за возникновения опасности транспортировки влажного газа по магистральным трубопроводам. В процессе транспортировки влажного природного газа при определенной температуре (температуре точки росы), влага, находящаяся в газе в паровой фазе, конденсируется. Летом это может привести к появлению так называемых «водяных пробок» в трубопроводах, а зимой – «ледяных пробок» и как следствие разрыву магистралей.

3. Разработка имитационной динамической модели

Динамическая модель описывается дифференциальными уравнениями материального и теплового балансов.

На рисунке 1.1 представлена схема потоков материального баланса.

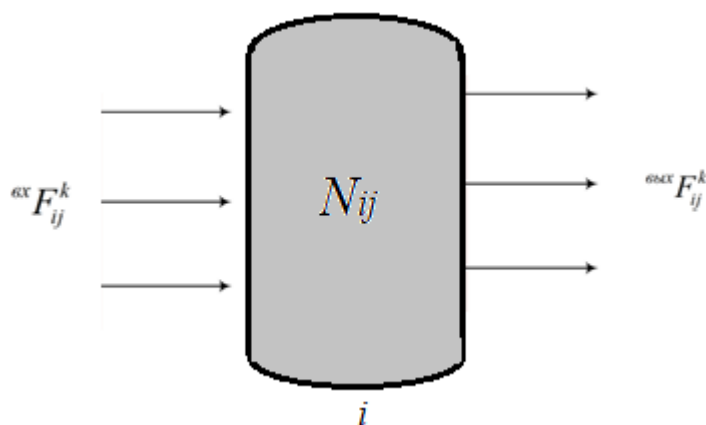


Рисунок 3 – Схема потоков материального баланса

N_{ij} - расход i -аппарате j -компонент;

F_{ij}^k -мольный расход k -го входа в i -аппарат j -компонента;

F_{ij}^k - мольный расход k -го выхода из i -аппарата j -компонента;

Материальный баланс:

$$\frac{dN_{ij}}{dt} = \sum_k F_{ij}^k - \sum_k F_{ij}^k \quad (2.7)$$

Из материального баланса можно вычислить:

1. Фазовое состояние
2. Уровень жидкости
3. Давление

При расчете массообменных процессов обычно используют законы, на основании которых можно рассчитать составы разделяемых фаз. Таким образом, согласно закону Рауля-Дальтона:

$$y_i = K_i \cdot x_i, \quad (2.8)$$

где K_i – константа фазового равновесия.

Совместным решением уравнений (2.7) и $e = \frac{G}{F}$, получаем:

$$x_i = \frac{u_i}{1 + e(K_i - 1)}, \quad (2.9)$$

Уравнение (1.2) содержит два неизвестных параметра: массовые доли компонентов в жидкой фазе x_i и долю отгона e . Для решения уравнения (1.3)

использован метод итераций. При этом на каждой итерации должно выполняться условие $\sum x_i = 1$.

Получив значения x_i , можно рассчитать состав газовой фазы, т.е. определить y_i .

Известно, что $F = G + L$ (2.10) и $e = \frac{G}{F}$ (2.11), решая совместно данные уравнения, получим формулу, для расчета уровня жидкости:

$$L = F \cdot (1 - e) \quad (2.12)$$

Для нахождения давления воспользуемся формулой (2.13):

$$PV = \frac{m}{M} RT \quad (2.13), \quad \text{откуда} \quad \frac{m}{M} = G, \quad V = V_L \quad (2.14)$$

$$P = \frac{GRT}{V_L} \quad (2.15)$$

Схема потоков материального баланса показана на рисунке 4.

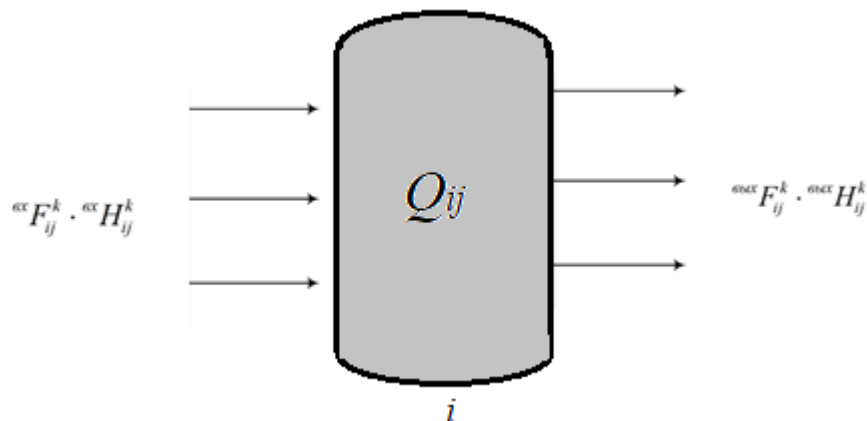


Рисунок 4 – Схема потоков теплового баланса

Q_{ij} - тепло в i -м аппарате j - компонента;

$^{вх}H_{ij}^k$ - энтальпия k -го входа в i -аппарат j -компонента;

$^{вых}H_{ij}^k$ - энтальпия k -го выхода из i -аппарата j -компонента;

$\Delta Q^* = K \cdot F \cdot \Delta T_{cp} \cdot \tau$ - основное уравнение теплопередачи;

K – коэффициент теплопередачи; F – площадь поверхности теплообмена; ΔT_{cp} - средняя разность температур между теплоносителями (средняя движущая сила процесса теплопередачи); τ – время;

Тепловой баланс:

$$\frac{dQ_{ij}}{dt} = \left(\sum_k {}^{ex}F_{ij}^k \cdot {}^{ex}H_{ij}^k - \sum_k {}^{ex}F_{ij}^k \cdot {}^{ex}H_{ij}^k \right) + \Delta Q^* \quad (2.16)$$

Q_{ij} - тепло в i -м аппарате в j -м компоненте

$\Delta Q^* = K \cdot F \cdot \Delta T_{cp} \cdot \tau$ - основное уравнение теплопередачи;

Из теплового баланса можно вычислить:

1. Температуру

$$\Delta Q = \sum_j N_{ij} \cdot \int_0^T C_{p_{ij}} \cdot dt \quad (2.17)$$

$C_{p_{ij}}$ - теплоемкость;

Зная общее тепло ΔQ , можно рассчитать температуру аппарата с течением времени.

4. Моделирование процесса низкотемпературной сепарации

С использованием имитационной динамической модели было выполнено моделирование процесса низкотемпературной сепарации в условиях динамического режима.

На систему осуществлялось воздействие за счет изменение степени закрытия регулирующих клапанов. В зависимости от скорости закрытия клапана, можем наблюдать изменения параметров работы аппаратов.

Были выбраны скорости закрытия клапана 0,5; 0,1; 0,01 и 0,001 %/с.

Анализ поведения системы проводился по следующим зависимостям:

1. Изменение основных технологических параметров в аппаратах в зависимости от точки росы при возмущении в системе;
2. Изменение основных технологических параметров в аппаратах в зависимости от расхода при возмущении в системе;
3. Изменение основных технологических параметров в аппаратах в зависимости от давления при возмущении в системе;
4. Изменение основных технологических параметров в аппаратах в зависимости от температуры при возмущении в системе;

Начальным этапом являлось загрузка входных параметров, которая показана на рисунке 5. Так же задается скорость закрытия клапана, которая изображена на рисунке 6 и далее производится расчет.

Рисунок 5 – Загрузка входных параметров

Рисунок 6 – Выбор скорости закрытия клапана

Входные данные для загрузки представлены на рисунке Б1 (прилож. Б).

Они находятся в файле Excel, который непосредственно связан с программой.

1	Edit1	1					1	5108275	235,39	6392530	5897870	3 940	61,00	-37,76
2	Edit2	1					2	5108274	235,39	6392530	5897870	3 940	61,00	-37,76
3	Edit3	1					3	5108274	235,39	6392530	5897870	3 940	61,00	-37,76
4	Edit4	1					4	5108273	235,39	6392530	5897870	3 940	61,00	-37,76
5	Edit5	1					5	5108272	235,39	6392530	5897870	3 940	61,00	-37,76
6	Edit6	1				EA1.Cells.Item[shag,10]:=Sep3.P;	6	5108272	235,39	6392529	5897870	3 940	61,00	-37,76
7	Edit7	1				EA1.Cells.Item[shag,11]:=Sep3.T;	7	5108271	235,39	6392529	5897870	3 940	61,00	-37,76
8	Edit8	1				EA1.Cells.Item[shag,12]:=Sep2.P;	8	5108271	235,39	6392529	5897870	3 940	61,00	-37,76
9	Edit9	1				EA1.Cells.Item[shag,13]:=Sep1.P;	9	5108270	235,39	6392529	5897870	3 940	61,00	-37,76
10	Edit10	1				EA1.Cells.Item[shag,14]:=EdKl3Q.Text;	10	5108270	235,39	6392529	5897870	3 940	61,00	-37,76
11	Edit11	1				EA1.Cells.Item[shag,15]:=EdKl2PO.Text	11	5108269	235,39	6392529	5897870	3 940	61,00	-37,76
12	Edit12	1					12	5108269	235,39	6392528	5897870	3 940	61,1	-37,76
13	Edit13	1					13	5108268	235,39	6392528	5897870	3 940	61,2	-37,76
14	Edit14	0					14	5108268	235,4	6392528	5897870	3 939	61,3	-37,75
15	Edit15	0					15	5108297	235,4	6392483	5897870	3 938	61,4	-37,75
16	Edit16	0					16	5108360	235,39	6392390	5897861	3 938	61,5	-37,76
17	Edit17	0					17	5108445	235,39	6392248	5897851	3 937	61,6	-37,76
18	Edit18	10					18	5108562	235,38	6392067	5897831	3 936	61,7	-37,77
19	Edit19	1					19	5108700	235,37	6391839	5897809	3 936	61,8	-37,78
20	Edit20	1					20	5108865	235,36	6391576	5897777	3 936	61,9	-37,79
21	Edit21	1					21	5109056	235,35	6391272	5897734	3 936	62,00	-37,8
22	Edit22	1					22	5109260	235,35	6390932	5897688	3 936	62,1	-37,8
23	Edit23	1					23	5109495	235,34	6390554	5897632	3 936	62,2	-37,81

Рисунок 7 – Входные данные

На рисунке 8 представлена схема процесса низкотемпературной сепарации второй и третьей ступени с использованием динамической модели.

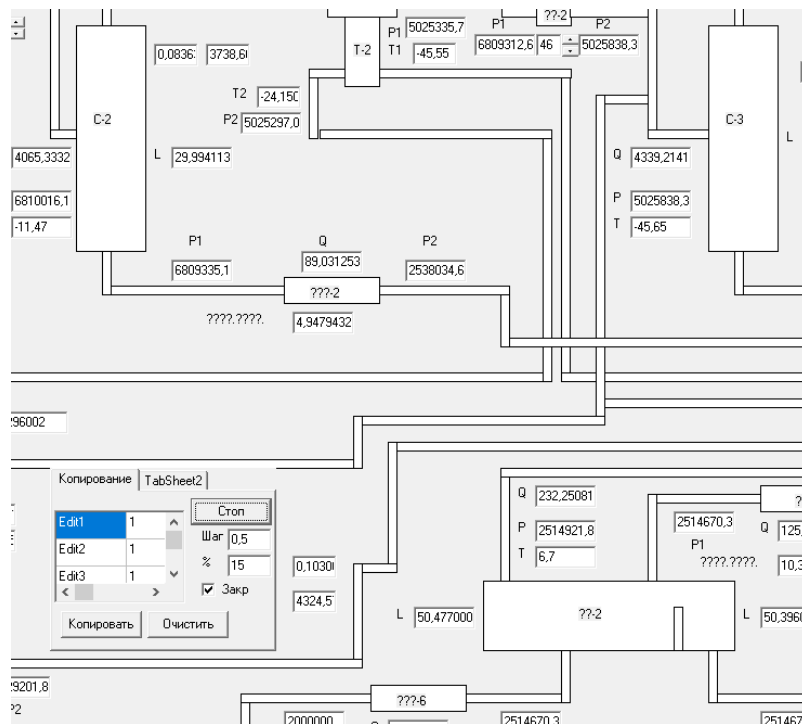


Рисунок 8 – Схема процесса низкотемпературной сепарации второй и третьей ступени при моделировании

После проделанного расчета, полученные данные обрабатываются.

4.1 Изменение основных технологических параметров в аппаратах перед сепаратором третьей ступени

Поведение системы при изменении точки росы

На рисунке 9 показаны изменения точки росы перед сепаратором третьей ступени при изменении скорости закрытия второго клапана.

При скорости 0,5 %/с наблюдается резкое падение температуры от минус 17,8565 до минус 20,3186 °С, которое не удовлетворительно влияет на систему. Затем, как и при скорости 0,1%/с происходит увеличение точки росы до минус 4,2696 и 4,5494 °С соответственно. При скоростях 0,01 и 0,001%/с видно, что резкого изменения параметра не наблюдается,

но при скорости 0,01 %/с точка росы увеличивается быстрее по сравнению со скоростью 0,001 %/с, где точка росы изменяется незначительно, от минус 17,8565 до минус 17,8357 °С.

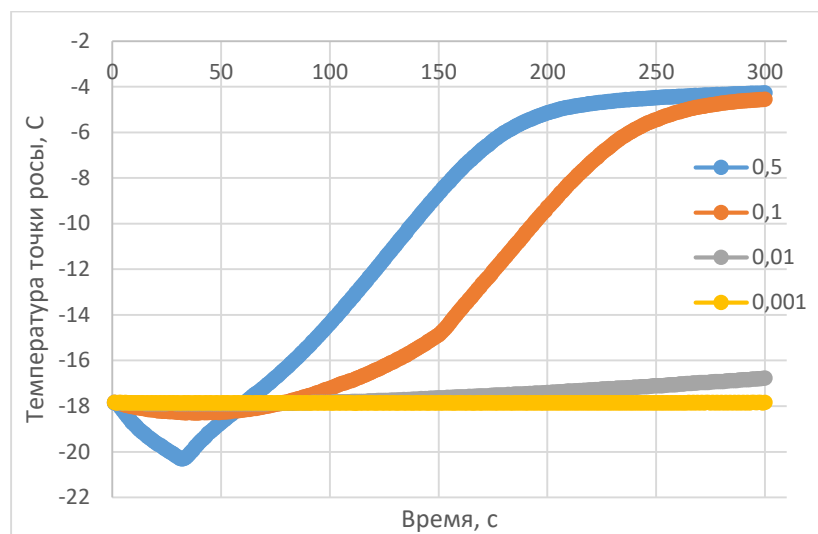


Рисунок 9 – Зависимость точки росы перед сепаратором третьей ступени от скорости закрытия клапана

Поведение системы при изменении расхода

На рисунке 10 показаны изменения расхода перед сепаратором третьей ступени при изменении скорости закрытия второго клапана.

При скорости закрытия клапана, равной 0,5 %/с видно, что происходит резкое снижение расхода от 4329,87 до 4053,437 м³/ч, затем возрастание до 4099,987 м³/ч. При скорости 0,1 %/с происходит также резкое снижение параметра до 4076,811 м³/ч, далее происходит постепенное возрастание. При скорости закрытия клапана 0,01%/с наблюдается минимум, который равен 4288,561 м³/ч. Постепенное снижение происходит при скорости 0,001 %/с в интервале от 4329,87 до 4325,189 м³/ч. При двух последних скоростях резких скачков изменения параметра не наблюдается.

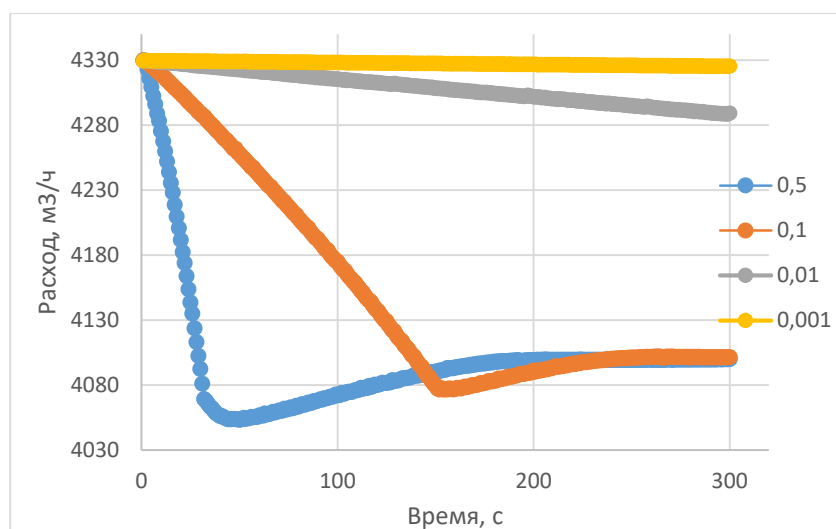


Рисунок 10 – Зависимость расхода перед сепаратором третьей ступени от скорости закрытия клапана

Поведение системы при изменении давления

На рисунке 11 показаны изменения давления перед сепаратором третьей ступени при изменении скорости закрытия второго клапана.

При выбранных скоростях закрытия клапана, которые равны 0,5 и 0,1 %/с наблюдается гидравлический удар, который характеризуется скачком давления, вызванным быстрым изменением скорости потока. При первой скорости давление стремительно возрастает от 6425579,2 Па до 6815597,7 Па, затем медленно понижается до 6770526,5 Па. При второй скорости можно наблюдать такую же картину, но в начале давление возрастает при большем времени до 6796320,4 Па. При скорости 0,01 %/с давление постепенно увеличивается до 6487194,4 Па, а при скорости 0,001 %/с, давление увеличивается незначительно с течением времени до 6431942,9 Па.

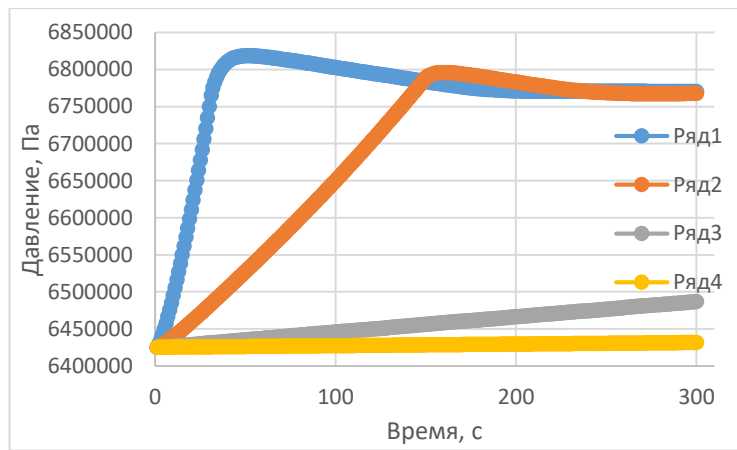


Рисунок 11 – Зависимость давления перед сепаратором третьей ступени от скорости закрытия клапана

Поведение системы при изменении температуры

На рисунке 12 показаны изменения температуры перед сепаратором третьей ступени при изменении скорости закрытия второго клапана.

Как видно из рисунка, что самое наименьшее изменение температуры происходит при скорости 0,001 %/с, где температуры снижается от минус 10,94°С до минус 10,93 °С. При скорости 0,01 %/с наблюдается уменьшение температуры, но уже в более большом интервале до минус 11,03 °С. Также видно, что при скоростях 0,5 и 0,1 %/с сначала происходит резкое снижение температуры, в отличие от рассмотренных ранее скоростях, до минус 13,5°С в течении первых трех минут.

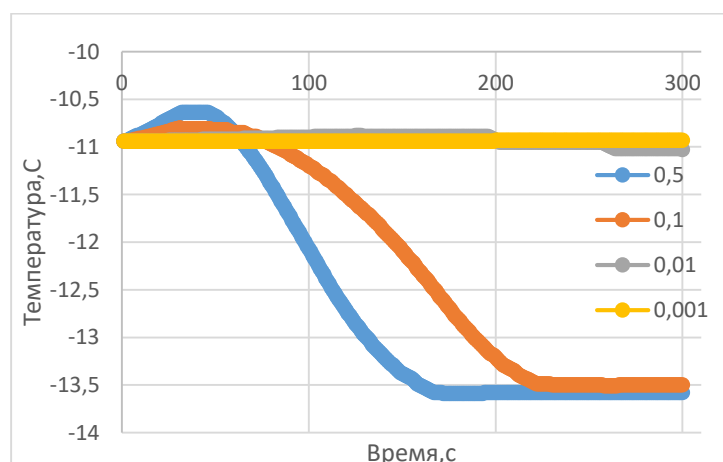


Рисунок 12 – Зависимость температуры перед сепаратором третьей ступени от скорости закрытия клапана

5. Проектирование разделителя жидкости второй ступени процесса низкотемпературной сепарации

Проектирование трехфазного сепаратора проводилось с использованием программного продукта Aspen HYSIS v.8.0.

На рисунке В1 (прилож. В) представлена схема трехфазного сепаратора, а на рисунке В2 (прилож. В) показан состав потоков.

5.1 Технологический расчет разделителя жидкости

Исходные данные

Для проведения технологического расчета необходимы следующие данные: максимальный расход газа $Q_{\max} = 21140$ кг/ч; рабочее давление $P = 0,3$ МПа; рабочая температура $T = 15^{\circ}\text{C}$; плотность газа в рабочих условиях $\rho_{\text{г}} = 4,908$ кг/м³; плотность жидкости в рабочих условиях $\rho_{\text{ж}} = 625,8$ кг/м³; плотность входной жидкости в рабочих условиях $\rho_{\text{ж}} = 13,02$ кг/м³; плотность метанольной воды в рабочих условиях $\rho_{\text{мв}} = 906,2$ кг/м³; коэффициент поверхностного натяжения в рабочих условиях $\sigma = 15,17 \cdot 10^{-3}$ Н/м; начальное содержание жидкости в газе $e_0 = 420$ см³/нм³, содержание жидкости на выходе из сепаратора (унос) – $0,0$ г/м³.

Эскиз конструкции трехфазного сепаратора представлен на рисунке В3 (прилож. В).

Технологический расчет проводился [31] относительно следующих элементов.

Расчет сепарационного элемента

Расчетная площадь

Для сетчатой насадки — это ее площадь в сечении перпендикулярном направлению потока.

$$F = \frac{q_z}{W_{\text{к}}}, \text{ м}^2 \quad (2.18)$$

$$F = \frac{1,197}{0,523} = 2,29 \text{ м}^2 \quad (2.19)$$

Объемный расход газа:

$$q_{\text{г}} = 1,197 \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.20)$$

Критическая скорость выражается:

$$W_{\text{к}} = C_t * C_e * K \sqrt{\frac{\sigma * g^2 * (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}})}{\rho_{\text{г}}^2}}, \text{ м/с} \quad (2.21)$$

$$W_{\text{к}} = 1 * 0,96 * 0,65 * \sqrt{\frac{15,17 * 10^{-3} * 9,81^2 * (13,02 - 4,908)}{4,908^2}} = 0,523 \text{ м/с} \quad (2.22)$$

где C_t -коэффициент, учитывающий влияние температуры газа на критическую скорость газа, $C_t=1,0$

C_e - коэффициент, учитывающий влияние начального содержания жидкости на критическую скорость газа;

Так как $e_0=420 \text{ см}^3/\text{мм}^3$, следовательно

$$C_e = 1,75/420^{0,107} = 0,92 \quad (2.23)$$

Конструктивные размеры сепарационного элемента (насадки)

Диаметр сетчатой насадки:

$$D = 2,134 \text{ м} \quad (2.24)$$

Расчетный диаметр округляется до ближайшего большего значения из ряда по ГОСТ 9617-76 для сетчатой насадки. Принимаем $D=2200 \text{ мм}$.

Расчет технологических штуцеров входа и выхода газа, выхода жидкости

Диаметр штуцера входа и выхода газа:

$$d_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{4 * q_{\text{г}}}{\pi * \rho_{\text{г}} * W^2}} = \sqrt{\frac{4 * 1,197}{3,14 * 4,908 * 10}} = 0,176 \text{ м} \quad (2.25)$$

где W -скорость газа в штуцере, м/с. Принимается $W=1,1 \text{ м/с}$.

Диаметр штуцера (внутренний) выхода жидкости:

$$d_{шж} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{ж}}{\pi \cdot \rho_{ж} \cdot w^2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 625,8 \cdot 1}} = 0,02 \text{ м} \quad (2.26)$$

где $W_{ж} - 1,0 \div 2,0$ - скорость жидкости в штуцере.

Диаметр штуцера (внутренний) выхода метанольной воды

$$d_{шмв} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{мв}}{\pi \cdot \rho_{мв} \cdot w^2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,014}{3,14 \cdot 906,2 \cdot 1}} = 0,004 \text{ м} \quad (2.27)$$

Расчетный диаметр штуцера округляется до ближайшего большего из ряда условных диаметров, при этом диаметр штуцера выхода жидкости рекомендуется принимать не менее $d_{ж}=50\text{мм}$. Принимаем $d_{ж}=0,05\text{м}$. Диаметр штуцера входа и выхода газа принимаем $d_{шт}=0,2\text{м}$, диаметр штуцера выхода метанольной воды $d_{мв}=0,05\text{м}$.

Расчет сливных труб

При расчете необходимой площади слива сливных труб количество жидкости, попадающей в сборник жидкости сепаратора по сливным трубам:

$$q_{сл} = 0,3 q_{ж}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.28)$$

$$q_{сл} = 0,3 \cdot 0,154 = 0,0462 \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.29)$$

Диаметр сливной трубы:

$$d_{шсл} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{сл}}{\pi \cdot \rho_{сл} \cdot w^2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,154}{3,14 \cdot 766 \cdot 0,25}} = 0,032 \quad (2.30)$$

где $W_{сл} \leq 0,25\text{м/с}$ – скорость слив;

Расчетный внутренний диаметр округляется до ближайшего большего из ряда стандартных диаметров труб, но не менее $d=40\text{мм}$. Принимаем $d_{сл}=0,04 \text{ м}$.

Конструктивные требования к отдельным элементам сепараторов и расчет размеров технологических зон

Материал сепарационной и коагулирующей насадок сетка-рукав

ТУ 14-4-681-76, ТУ 26-02-354-76.

Объемная масса насадок – 200-250 кг/м³.

Насадка может быть секционной или цельной. В цельной насадке сетка-рукав сворачивается в спираль, высота насадки – 100мм. В секции сетка-рукав укладывается слоями (70 слоев) поочередно вдоль и поперек, высота секции 150мм.

Площадь элементов решетки сетчатой насадки должна составлять не более 5% от ее общей площади.

Соответствие действительного диапазона работы сепаратора по газу и жидкости заданному

Условия соответствия по производительности

$$Q_{\text{max.д.}} \geq Q_{\text{max.зад}}, \quad (2.31)$$

$$632400,5 \text{ м}^3/\text{сут} > 107765,5 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (2.32)$$

где $Q_{\text{max.д}}$ – действительная максимальная производительность сепаратора по газу, $\text{м}^3/\text{сут}$

$Q_{\text{max.зад}}$ – заданная максимальная производительность сепаратора по газу, $\text{м}^3/\text{сут}$.

Условие соответствия штуцеров входа и выхода газа

Величина действительной скорости газа в штуцерах должна лежать в области допускаемых скоростей.

$$W_{\text{ш.з.}} = \frac{q_z}{0,785 * d_{\text{ш.з.}}^2}, \text{м/с} \quad (2.33)$$

$$W_{\text{шг}} = \frac{1,197}{0,785 * 0,146^2} = 30 \text{ м/с} \quad (2.34)$$

Скорость жидкости в сливных трубах должна быть:

$$W_{\text{сл}} < 0,25 \text{ м/с} \quad (2.35)$$

Действительная скорость слива:

$$W_{\text{сл}} = 0,382 * \frac{q_{\text{ж}}}{\sum d_{\text{сли}}^2}, \text{м/с} \quad (2.36)$$

$$W_{\text{сл}} = 0,383 * \frac{0,154}{0,04^2 + 0,04^2} = 0,249 \text{ м/с} \quad (2.37)$$

Условие выполняется

$$0,249 \text{ м/с} < 0,25 \text{ м/с} \quad (2.38)$$

Чертеж общего вида трехфазного сепаратора представлен на рисунке В4 (прилож. В).

III. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель ВКР – повышение эффективности работы установки низкотемпературной сепарации газа с применением имитационной динамической модели.

В работе выполнен анализ основных процессов и факторов, влияющих на работу установки низкотемпературной сепарации. На основе существующих математических моделей основных физических процессах, протекающих в аппаратах, был предложен комплексный математический аппарат, способный описывать данный процесс.

Основной метод, применяемый в работе – метод математического моделирования. Модель объекта строилась с учетом физико-химических закономерностей протекания процесса.

Областью применения модели является нефтегазовая промышленность.

Основные проблемы эффективного ресурсопотребления и ресурсосбережения актуальными являются всегда. В настоящее время все технологические процессы идут с потреблением первичных ресурсов (энергия, воздух, вода), материальных и трудовых. Формирование и реализация стратегии ресурсосбережения на всех уровнях управления – один из важнейших вопросов стратегического менеджмента, так как ресурсоемкость является второй стороной товара, когда первой является его качество.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [32,33].

1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками [32].

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Для данной разработки целесообразно использовать такие критерии сегментирования рынка: размер компании, отрасль, географический и поведенческий критерии.

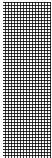
Размер компании очень важен, т.к. крупные компании часто используют новые технологии и могут поддаться риску, потому что имеют возможность возместить убытки.

Что касается отраслей, то не все предприятия могут пользоваться данным исследовательским проектом, а только нефтяная промышленность. Отсюда вытекает географический критерий, потому что не всякий регион и не всякая страна имеет газовые и нефтяные ресурсы.


Целесообразно выбрать два наиболее значимых критерия: размер компании и отрасль, по которым будет производиться сегментирование рынка (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Карта сегментирования рынка


		Отрасль	
		Газодобывающие предприятия	Нефтегазодобывающие предприятия
Размер	Крупные		
	Средние		
	Мелкие		



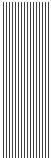
Роснефть




Газпром



Атомконверс



Новатэк



Норд
Империял

Как видно из таблицы основными сегментами данного рынка являются крупные и малые компании. Следовательно, наиболее перспективным сегментом в отраслях нефтегазодобычи и нефтегазопереработки для формирования спроса является сегмент независимых крупных и средних нефтедобывающих компаний [34].

1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам и позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки, и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 3.1.2.

Таблица 3.1.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес крите -рия	Баллы			Конкурентоспособно		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Адекватность разработки	0,14	5	4	4	0,70	0,70	0,70
2. Унифицированность	0,04	4	4	4	0,16	0,16	0,16
3. Простота применения	0,14	5	5	5	0,70	0,70	0,70
4. Универсальность	0,10	3	3	3	0,42	0,42	0,42
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
2. Уровень проникновения на рынок	0,14	3	3	5	0,42	0,42	0,70
3. Финансирование научной разработки	0,09	2	1	4	0,18	0,09	0,36
4. Срок выхода на рынок	0,08	1	1	5	0,08	0,08	0,40
5. Наличие сертификации разработки	0,15	1	1	5	0,15	0,15	0,75
Итого	1				3,29	3,20	4,67

Критерии подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения. Позиция разработки и конкурентов оценивается по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i$$

Где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Полученные значения говорят об эффективности научной разработки и позволяют определить направления для ее будущего повышения: следует увеличить уровень проникновения на рынок и получить сертификацию разработки.

1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов [35].

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 3.1.3.

Таблица 3.1.3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Простота применения С2. Адекватность разработки С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта. С4. Относительно невысокая денежная и временная затратность проекта	Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие сертификации Сл3. Невозможность использования в компаниях, использующих традиционные методы переработки нефти (не использующие реагентов) Сл.4 Отсутствие бюджетного финансирования.
Возможности: В1. Использование	Простота применения и адекватность разработки	Инновационные инфраструктуры ТПУ и

инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск В3. Появление потенциального спроса на новые разработки В4. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок	может вызвать спрос на нее, а это в свою очередь увеличит количество спонсоров. Кроме того, унифицированность и адекватность разработки может уменьшить конкурентоспособность других разработок. Невысокая затратность проекта может привлечь больше сотрудников и исполнителей.	ОЭЗ ТВТ Томск могут оказать помощь в финансировании проекта. При снижении конкурентоспособности подобных разработок и при появлении спроса на новые может появиться возможность использования данной НИР в компаниях использующих традиционные методы переработки нефти.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии У2. Значимая конкуренция У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	В силу того, что в данной разработке используется более новая информация наряду со старой, то это может повысить спрос и конкуренцию разработки. В силу малой затратности проекта представляется возможность вложения дополнительных денежных средств в другие услуги, такие как сертификация.	Отсутствие прототипа научной разработки говорит об отсутствии спроса на новые технологии и отсутствии конкуренции проекта. Несвоевременное финансирование научного исследования приведет к невозможности получения сертификации.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа, который состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор

помечается либо знаком «+» – сильное соответствие сильных сторон возможностям, либо знаком «-» – слабое соответствие; «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 3.1.4.

Таблица 3.1.4 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	-	-	-	+
	B2	-	-	-	+
	B3	+	+	+	-
	B4	+	+	+	-
Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	0	+	0	-
	У2	+	+	+	+
	У3	-	-	-	0
	У4	-	-	-	-
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	-	+
	B2	-	-	0	+
	B3	+	+	+	0
	B4	+	+	-	-
Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	0
	У2	0	+	0	-
	У3	-	0	-	-
	У4	-	+	-	+

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об

их единой природе. В этом случае, возможности описываются следующим образом: B2B3C2C3 [36].

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в бакалаврской работе (табл. 3.1.5).

Таблица 3.1.5 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Простота применения С2. Адекватность разработки С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта. С4. Относительно невысокая денежная и временная затратность проекта.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие сертификации Сл3. Невозможность использования в компаниях, использующих традиционные методы переработки нефти (не использующие реагентов) Сл.4 Отсутствие бюджетного финансирования.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск В3. Появление потенциального спроса на новые разработки В4. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок.	Простота применения, адекватность разработки, использование более свежей информации в проекте увеличит спрос и конкурентоспособность НИР (В3В4С1С2С3). При подключении в работу инновационных структур уменьшается время разработки и появляются дополнительные денежные средства(В1В2С4).	Помощь в финансировании проекта и его сертификации могут оказать инновационные инфраструктуры(В1В2Сл2Сл4). Необходимо снизить конкурентоспособность подобных разработок и расширить использование данной НИР во многих компаниях (В3В4Сл1Сл3).

Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии У2. Значимая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	Использование более новой информации, простота и адекватность математической модели позволяют повысить спрос и конкуренцию разработки, что уменьшает влияние финансирования (С1С2С3У1У2У4). В силу малой затратности проекта представляется возможность вложения дополнительных денежных средств в другие услуги, такие как сертификация (У3С4).	Отсутствие прототипа, сертификации научной разработки, невозможность использования в компаниях с традиционными методами обработки нефти приведет к отсутствию спроса и отсутствию конкуренции проекта (У1У2Сл1Сл2Сл3), а отсутствие финансирования приведет к невозможности получения сертификации (У3Сл4).
--	---	---

2. Планирование научно-исследовательских работ

2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор направления исследований	Руководитель темы

Выбор направления исследований	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
	4	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	5	Проведение патентных исследований	Бакалавр
Теоретические исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, бакалавр
	7	Проведение компьютерных расчетов	Руководитель, бакалавр
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, бакалавр
<i>Проведение ОКР</i>			
Оформление отчета по НИР	10	Оформление отчета	Бакалавр

2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования [32,36].

Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (3.1),$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.; $t_{\text{макс}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} \quad (3.2),$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (3.3),$$

Где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (3.4),$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения указаны в таблице 3.2.2.

Таблица 3.2.2 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длит-ть работ в рабочих днях T_{pi}	Длит-ть работ в календарных днях T_{ki}
	$t_{\min i}$ чел-дни	$t_{\max i}$ чел-дни	$t_{\text{ож}i}$ чел-дни			
Выбор направления исследования	2	7	4	Руководитель	4	6
Составление и утверждение технического задания	3	12	7	Руководитель	7	10
Календарное планирование работ по теме	6	15	10	Руководитель	10	15

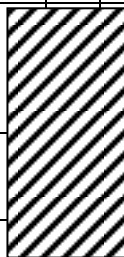
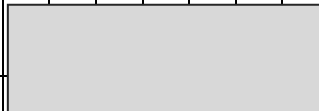
Продолжение таблицы 3.2.2

Подбор и изучение материалов по теме	30	60	42	Бакалавр	42	62
Проведение патентных исследований	10	20	14	Бакалавр	14	21
Проведение теоретических расчетов и	3	12	6	Руководитель, бакалавр	3	4

обоснований						
Проведение компьютерных расчетов	3	12	6	Руководитель, бакалавр	3	4
Оценка эффективности полученных результатов	1	3	2	Руководитель, бакалавр	1	2
Определение целесообразности проведения ОКР	1	4	3	Руководитель, бакалавр	2	3
Оформление отчета	3	12	6	Бакалавр	6	9

На основе таблицы 3.2.2 построен календарный план-график (табл. 3.2.3) по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования [37,38].

Таблица 3.2.3 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполни-тели	T_{ki} , дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февраль		март			апрель			Май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Выбор направления исследований	Руководитель	6														
2	Составление ТЗ	Руководитель	10														
3	Планирование работ	Руководитель	15														
4	Подбор, изуче- материалов	Бакалавр	62														
5	Патентные	Бакалавр	14														

	исследования																
6	Проведение теоретических расчетов	Руководитель , бакалавр	4														
7	Проведение компьютерных расчетов	Руководитель , бакалавр	4														
8	Оценка эффективности результатов	Руководитель , Бакалавр	2														
9	Определение целесообразности проведения	Руководитель , бакалавр	3														
10	Оформление отчета	Бакалавр	9														

 – руководитель
  – бакалавр

– руководитель

– бакалавр

3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям: материальные затраты НТИ; основная заработная плата исполнителей темы; дополнительная заработная плата исполнителей темы; отчисления во внебюджетные фонды; затраты научные и производственные командировки; контрагентные расходы; накладные расходы [39].

3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат, необходимых для данной разработки, осуществляется по следующей формуле и отражен в таблице 3.3.1:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх}i} \quad (3.5),$$

Таблица 3.3.1 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изме р-я	Количество			Цена за ед. с НДС руб.			Затраты на материалы, (З _м), руб.		
		Исп .1	Исп. 2	Исп .3	Исп .1	Исп .2	Исп .3	Исп. 1	Исп.2	Исп. 3
Нефть	тон на	200 000 0	2000 000	200 000 0	980	980	980	1960 0000 00	19600 00000	1960 0000 00
Вспомогательн ые материалы: деэмульгаторы	тон на	20	20	20	370 00	400 00	400 00	7400 00	80000 0	8000 00
Итого								1960 7400 00	19608 00000	1960 8000 00

3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Таблица 3.3.2 – Затраты на оборудование

№ п/ п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1.	Персональный компьютер	2	3	3	25	25	25	50	75	75
2.	ПО Microsoft Office	2	3	3	5,0	5,0	5,0	10	15	15
3.	Лицензия на программный пакет Pascal	1	—	—	27	—	—	27	—	—
4.	Лицензия на программный пакет Delphi	1	—	—	27	—	—	27	—	—
Итого:								114	90	90

3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты).

Основная заработная плата руководителя от ТПУ рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда, которая предполагает следующий состав заработной платы: оклад, распределяемый в соответствии с занимаемыми должностями; стимулирующие выплаты за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.; районный коэффициент.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 1812 \cdot 30 = 54370 \text{руб} \quad (3.6),$$

Где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб; T_p – продолжительность работ научно-технического работника, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле :

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{34677 \cdot 10,4}{199} = 1812 \text{руб} \quad (3.7),$$

Где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени, раб.дн. (табл.3.3.3).

Таблица 3.3.3 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	0
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	247

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.3.4.

Таблица 3.3.4 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	доцент	1,3	34677	1812	30	54370
Бакалавр	—	—	—	—	—	12500

3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (3.8),$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таблица 3.3.5 – Заработная плата исполнителей НП

Исполнители \ Заработная плата	Основная, $Z_{осн}$,руб.	$k_{доп}$	Дополнительная, $Z_{доп}$,руб	Итоговая зарплата, $C_{зп}$,руб
Руководитель	54370	0,15	8155,5	62525,5
Бакалавр	12500		1875	14375
Итого:	66870		10030,5	76900,5

Расчеты показали, что годовая заработная плата за время выполнения проекта составляет 76900,5 руб [40,41].

3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн.} + З_{доп.}) = 769005 \cdot 0,3 = 230701,5 \text{ руб} \quad (3.9),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды. На 2017 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году водится пониженная ставка – 30%.

3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\sum \text{статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} \quad (3.10),$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов примем равной 16%.

$$С_{накл} = (1960740000 + 87000 + 66870 + 10030,5 + 23070) \cdot 0,16 = 313748315,28 \text{ руб} \quad (3.11).$$

3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.3.6.

Таблица 3.3.6 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты	1960740000	1960800000	1960800000	Пункт 3.3.1
2. Затраты на оборудование	114000	90000	90000	Пункт 3.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	66870	66870	66870	Пункт 3.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10030,5	10030,5	10030,5	Пункт 3.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	23070	23070	23070	Пункт 3.3.5
6. Накладные расходы	313748315,28	313748315,28	313748315,28	16 % от суммы ст. 1-5 Пункт 3.3.5
7. Бюджет затрат НТИ	2274675285,78	2274738285,78	2274738285,78	Сумма ст. 1- 6

4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, нахождение которого связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности [41,42].

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования и определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (3.12),$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом (таблица 3.3.7):

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (3.13),$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Таблица 3.3.7 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Адекватность разработки	0,30	5	4	5
2. Унифицированность	0,20	4	4	4
3. Простота применения	0,26	5	5	4
4. Универсальность	0,24	3	3	3
Итого	1	4,32	4,02	4,06

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \text{ и т.д.} \quad (3.14)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (табл. 3.3.8), которая рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (3.15),$$

Таблица 3.3.8 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,99	0,99
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,32	4,02	4,06
3	Интегральный показатель эффективности	4,32	4,06	4,10
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения относительно исполнения 1	1	0,94	0,95

Вывод: На основании значений интегральных показателей эффективности вариантов исполнения, оптимальным считается вариант исполнения 1.

IV. Социальная ответственность

Введение

Развитие нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности напрямую связано с совершенствованием технологии нефтепереработки, разработкой и оптимизацией существующих процессов, обеспечивающих улучшение технико-экономических показателей и качества нефтепродуктов.

Для обеспечения соблюдения требований охраны труда на предприятии существуют контролирующие органы власти, в качестве которых выступают Правительство РФ и уполномоченные исполнительные органы на местах, а также Федеральная служба по труду и Государственные инспекции труда.

В соответствии с генеральным соглашением между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 - 2018 годы от 25 декабря 2013 г., необходимо непрерывно совершенствовать систему страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, формированию страховых тарифов в зависимости от условий труда и уровня его охраны на рабочих местах.

Специальная оценка условий труда осуществляется согласно Федеральному закону Российской Федерации N 426-ФЗ от 28 декабря 2013 г.

Охрана здоровья рабочих и служащих в процессе исполнения трудовых обязанностей закреплена в трудовом законодательстве. Соблюдение требований безопасности выпускаемых машин, оборудования, инструмента столь же обязательно, как и основных технико-экономических параметров.

Эксплуатация установки комплексной подготовки газа (УКПГ) со следующими опасностями для работающих:

- Наличием в системе большого количества легковоспламеняемых нефтепродуктов (бензол, этилен, полиалкилбензолы, этилбензол);
- Наличием в системе высоких температур и давления;
- Использование в технологическом процессе хлорсодержащих соединений;
- Наличием высокого напряжения в электросетях (380В и 6000В).
- Необходимостью обслуживания запорной арматуры, расположенной на высоте.

Поэтому в последнее время становятся актуальными вопросы, касающиеся безопасности жизнедеятельности трудящихся.

4.1 Характеристика вредных факторов производственной среды

Вредные производственные факторы (повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, повышенные уровни шума и вибрации на рабочем месте, недостаточная освещенность рабочих зон и др.) могут возникнуть при обслуживании объектов газового хозяйства.

В таблице 17 представлен перечень вредных веществ и класс опасности, согласно ГОСТ 12.1.007.

Таблица 17 – Характеристика вредных веществ

Характеристика	Наименование веществ	
	Метан	Метанол
Плотность по воздуху, г/м ³	0,56	1,1
Предельно-допустимая концентрация, мг/м ³	300	5
В рабочей зоне		0,2
В населенном пункте:	50 (ОБУВ)	1
Класс опасности	4	3
Действие на организм	Не оказывает токсичного действия	Сильный яд
Температура воспламенения, °С	<450	<436
Концентрационный предел воспламенения	5–15%	6,7–34,7%
Категория и группа	ПАТ 2	ПАТ 2

В производственных помещениях следует иметь аптечки, укомплектованные медикаментами, для оказания первой доврачебной помощи.

Каждый работник или посетитель производства обеспечивается следующими средствами защиты:

- головы (каска);

- органов дыхания (изолирующие дыхательные аппараты, противогазы, респираторы);
- лица и органов зрения (лицевые щитки, защитные очки, прозрачные экраны);
- кожи рук (защитные перчатки, рабочие рукавицы).

4.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещённость на рабочем месте составляет не менее 300 лк [35], для помещений, в которых эксплуатируются персональные компьютеры и видеодисплейные терминалы, – 750 лк для работников вычислительных центров. Необходимо ограничивать прямую блесткость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей в поле зрения не должна превышать 200 кд/м². Яркость бликов на экране видеодисплейных терминалов и персональных компьютеров не превышает 40 кд/м², а яркость потолка, при применении системы отраженного освещения, не превышает 200 кд/м².

Окраска помещений влияет на психологическое состояние трудящегося, поэтому необходимо окрашивать помещение в соответствии с цветом технических средств. Кроме того, выбор цвета определяется освещенностью помещения: чем выше отражение света стенами и оборудованием, тем выше освещенность.

Для операторов персональных компьютеров и видеодисплейных терминалов ограничивают неравномерность распределения яркости в поле зрения, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 – 5:1, между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1. Для осветительных установок общего освещения коэффициент запаса составляет 1,8 — 2,0. Коэффициент пульсации не превышает 5%. Для обеспечения нормируемых значений освещенности в рабочих помещениях проводится чистка стекол оконных рам

и светильников два раза в год и своевременная замена перегоревших ламп. Требования к освещению рабочих мест зафиксированы.

Рабочие места, объекты, подходы к ним, проходы и переходы в тёмное время суток должны быть освещены. Искусственное освещение должно быть выполнено в соответствии с установленными нормативами и обеспечивать установленный санитарными нормами уровень освещения таблица 18.

Таблица 18 – Санитарные нормы уровня освещенности рабочих поверхностей

Освещаемые объекты	Освещённость рабочих поверхностей или минимальная освещённость в горизонтальной плоскости, лк
Кабинеты и рабочие комнаты	300
Химическая лаборатория	500
Операторная	200
Насосные блоки	150
Технологические площадки	20
Пожарные проезды, дороги	0,5
Пешеходные дорожки	0,5
Ступени и площадки лестниц и переходных мостиков	3
Площадки перед зданиями, подъезды и проходы к зданиям, стоянки транспорта	2
Места расположения маркировочных щитков, надписей, предупреждающих знаков и знаков безопасности - при использовании люминесцентных ламп	150

- при использовании ламп накаливания	50
Фотолюминесцентные знаки безопасности	25

4.3 Повышенный уровень шума

Классификация шумов установлена ГОСТ и нормируется в следующих пределах:

- на кустовых площадках, площадках ДНС, КНС – до 99 дБ;
- в насосной уровень шума достигает 90-100 дБ.

Согласно [36] эквивалентный уровень шума должен составлять не более 80 дБА.

Обслуживающий уровень, снабжается индивидуальными средствами защиты (наушники).

Производственные процессы на месторождении, такие как бурение скважин, спускоподъемные операции при ремонте скважин, процессы перекачки процесс гидроразрыва пласта сопровождаются значительными шумом и вибрацией. Современное развитие техники, оснащение предприятий мощными и быстродействующими машинами и механизмами приводит к тому, что человек постоянно подвергается воздействию шума.

В случаях работы при бурении, ремонте скважин и т.д., шум и вибрация действуют одновременно. При невысоком уровне звукового давления шум оказывает вредное влияние на нервную систему человека и его организм в частности, на органы слуха, вызывая раздражение, утомление, ослабление внимания.

Антифоны применяют для защиты органов слуха при технологических процессах, сопровождающихся шумами.

Например, при текущем и капитальном ремонтах скважин, наблюдается интенсивный шум: в месте расположения машины-подъемника, в кабине машиниста и у глушителя автомобиля.

Допустимые шумовые характеристики рабочих мест в России регламентируются [37] и [38].

4.4 Повышенный уровень вибрации

Источники вибрации: насосы, замерная установка.

Допустимые нормы вибрации при работе в насосной составляют 60-75 дБ. Для ослабления колебаний применяют виброгасители и виброизоляторы.

Гигиенические допустимые уровни вибрации регламентируют [39]. При разработке мероприятий для защиты от шума и вибрации следует руководствоваться [40].

Борьба с шумом и вибрациями ведется в основном посредством создания условий уменьшения их воздействия на организм человека. Используются две группы для борьбы: конструктивно-технологические - к этой группе относится использование смазки, замена зубчатых передач металлических частей оборудования пластмассовыми, использование клиноременной передачи; - акустические: использование звукопоглощающих материалов, звукоизолирующие кабины, а также глушители.

4.5 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Основными параметрами микроклимата является температура, относительная влажность и скорость воздуха. Микроклимат оказывает влияние на самочувствие человека, его трудоспособность и протекания физиологических процессов.

Важным фактором, влияющим на организм человека, является скорость движения воздуха. Для оценки метеоусловий в помещениях производят измерения температуры, влажности, запыленности, скорости движения воздуха.

Результаты измерения сравнивают с нормативами ГОСТ 12.1.0005-88 и СанПин 2.2.4548-96.

Выполняемая работа относится к категории Ia по тяжести выполняемых работ, производится сидя и сопровождается незначительным

физическим напряжением. Для данной категории работ определены оптимальные и допустимые границы основных параметров микроклимата, которые приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, t°С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха	
		Ниже оптимального, t° _{опт}	Выше оптимального, t° _{опт}			Если t° < t° _{опт}	Если t° > t° _{опт} «xx»
Холодный	Ia	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75 «x»	0,1	0,1
Теплый	Ia	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15,75 «x»	0,1	0,2

«x» При температурах воздуха 25 °С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы:

70% - при температуре воздуха 25 °С; 65% - при температуре воздуха 26 °С

60% - при температуре воздуха 27 °С; 65% - при температуре воздуха 28 °С

«xx» При температурах воздуха 26 – 28 °С скорость движения воздуха в теплый период года должна соответствовать диапазону: 0,1 – 0,2 м/с.

При устройстве систем вентиляции и кондиционирования воздуха в помещениях необходимо соблюдать определенные требования пожарной безопасности. Необходимо обеспечить приток свежего воздуха (определяется

из расчета 20-60 м³/час на одного человека). Для обеспечения требуемого микроклимата воздушной среды предложена искусственная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревания воздуха в помещениях в холодное время года, а также безопасность в отношении пожаров и взрывов. Оптимальной является водяная система отопления, которая является гигиеничной, надежной в эксплуатации, требующей минимум затрат на обслуживание, и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

4.5 Анализ опасных факторов производственной среды

4.5.1 Механические опасности

Источников механической опасности на установке комплексной подготовки газа может быть огромное количество. Например, аппараты установки имеют огромные размеры, их обслуживание и ремонт в связи с этим очень затруднителен и травмоопасен (ремонт на большой высоте и т.д.). В ходе эксплуатации установки может случиться взрыв или пожар. В связи с этим, работники могут пострадать от осколков, обломков или ударной волны. Наличие в системе высокого давления и температуры может служить причиной для травм.

Для того чтобы защитить себя от травм на производстве, работники должны строго соблюдать все инструкции по эксплуатации оборудования, все правила поведения на производственной площадке. Вовремя проводить ремонт и диагностику оборудования, ликвидировать, если это возможно, или контролировать все возможные источники опасности. Во время нахождения в опасной зоне использовать защитную одежду, перчатки, очки, каску.

В случае механической опасности, работники должны как можно быстрее на нее среагировать и принять все необходимые меры для ее устранения.

4.6 Электробезопасность

Для протекания непрерывного технологического процесса необходимо обеспечить его электробезопасным оборудованием, создать благоприятные условия труда для человека, связанного с электричеством.

Основные опасности, обусловленные электрическим током:

1. Опасность напряжения прикосновения – при прикосновении человека к незаизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

2. Опасность напряжения перехода – при прикосновении человека к нетоковедущим металлическим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

3. Опасность токов короткого замыкания.

При нарушении правил эксплуатации или неисправности электрооборудования возникает опасность воздействия электрического тока на человека. Электробезопасность обеспечивается в соответствии с [41] и относится к особо опасной категории.

В соответствии с требованиями [42] (с изм. №1) ССБТ, для защиты статического электричества оборудование должно быть заземлено, рабочие места должны быть снабжены резиновыми ковриками.

4.7 Термические опасности

Источником термической опасности на данном производстве являются теплообменное оборудование, трубопроводные магистрали. К тому же, установка эксплуатируется при повышенном давлении 3-7 МПа. Для того чтобы избежать повреждений, нужно следовать инструкции при эксплуатации оборудования.

Используемые средства защиты:

- лицевые щитки, защитные очки, прозрачные экраны;
- защитные перчатки, рабочие рукавицы;
- спецодежда;

- каски.

4.8 Пожаровзрывобезопасность

При выполнении работ во взрыво- или пожароопасных помещениях указываются их категории, согласно [43] (А, Б, В-1-В-4, Г, Д); степени огнестойкости зданий; противопожарные разрывы между зданиями и сооружениями; проезды для техники и пожарных машин; расположение основных и вспомогательных въездов на территорию объекта. Для взрыво- и пожароопасных зон в помещениях или на открытых установках указываются классы зон по ПУЭ: взрывоопасные (В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa) и пожароопасные (П-I, П-II, П-IIa, П-III); категории (IIA, IIB, IIC) и группы (T1, T2, T3, T4, T5, T6) взрывоопасных смесей.

Для предотвращения образования взрывоопасных концентраций продуктов в помещениях и других закрытых местах на нефтегазодобывающих предприятиях осуществляют герметизацию оборудования и всех путей передвижения нефти и газа, устраивают эффективную вентиляцию в помещениях, а также проводят мероприятия по предотвращению появления огня во взрывоопасных местах.

В качестве огнегасительных веществ применяют воду в виде струй, пара или в распылённом состоянии, твердые вещества (песок, кошмы), инертные газы (азот, двуокись углерода), галоидопроизводные составы, пены (химическая и воздушно-механическая).

Пожар можно ликвидировать механическим воздействием на пламя, изоляцией его от воздуха, охлаждением или удалением горючих веществ из очага горения. Для этой цели используют огнегасительные вещества и противопожарное оборудование: водяные гидранты, шланги, стволы, пеногенераторы, пенокамеры, пенозакидные мачты и др.

У скважин и других объектов должен быть первичный инвентарь для пожаротушения: ящики с песком, лопаты, совки, ломы, топоры, кошма и огнетушители пенные (ОП-5) и углекислые (ОУ-2, ОУ-5). Этот инвентарь

используется только по прямому назначению. Обслуживающий персонал должен уметь его эффективно применять.

4.9 Экологическая безопасность

Подготовка нефти — это многостадийный процесс, который включает в себя обезвоживание и обессоливание нефти.

Подготовка нефти не является безотходным процессом. При подготовке нефти так же возможны выбросы в атмосферу. Экология подготовки нефти включает в себя проблемы загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы.

Анализ вредных факторов при адаптации математической модели на производстве

Так как при создании программы математического моделирования процесса низкотемпературной сепарации невозможно учесть влияние вредных веществ на окружающую среду, поэтому в качестве альтернативы предлагается рассмотреть опасные вещества, утечка которых возможна на предприятии.

Работа установки промысловой подготовки газа связана с образованием и выбросом загрязняющих веществ в атмосферу. Выбросы установки делятся на организованные и неорганизованные. К организованному выбросу относится выброс отходного газа через трубу.

К неорганизованным выбросам относятся выбросы через неплотности аппаратов, запорной, регулирующей и предохранительной арматуры, фланцевых соединений, уплотнений и т.д.

Окись углерода.

СО – бесцветный газ без вкуса и запаха. Плотность газа по воздуху 0,967 мг/м³. [44]

Поступление СО в организм подчиняется закону диффузии газов. ПДК окиси углерода в воздухе рабочей зоны 20 мг/м³. Концентрацию 300 мг/м³ человек переносит без заметного действия в течение 2-4 ч.; 600 мг/м³ за

это время вызывает легкое отравление; 1800 мг/м³ – тяжелое отравление наступает через 10-30 минут; 3600 мг/м³ – человек переносит 1-5 минут.

Двуокись углерода.

СО₂ – бесцветный, тяжелый, малореакционноспособный газ. При низких и умеренных температурах обладает слегка кисловатым запахом и вкусом. При содержании в воздухе до 1% не оказывает токсичного воздействия; при 4-5% раздражающе воздействует на органы дыхания, значительно учащая частоту дыхания; при 10% вызывает сильное отравление.

Углекислый газ оказывает наркотическое действие на человека и может изменять его поведение (походку, реакцию зрачков и др.), раздражать слизистую оболочку. В воздухе, вдыхаемом человеком, содержится примерно 0,04% СО₂.

Предельные углеводороды.

Химически наиболее инертны среды органических соединений, они являются в то же время сильнейшими наркотиками. Действие их ослабляется ничтожной растворимостью в воде и крови, вследствие чего только при высоких концентрациях создается опасность отравления этими веществами. С увеличением числа атомов углерода сила наркотического действия растет.

Постоянный контакт с предельными углеводородами вызывает покраснение, зуд, пигментацию кожи. ПДК (в пересчете на углерод) – 300 мг/м³ [44].

Оксиды азота (NO_x)

Оксиды азота (или окислы азота) - это газообразные оксиды азота (N). Для обозначения используется аббревиатура NO_x, поскольку существует множество возможных соединений, с различным количеством атомов: N₂O, NO, N₂O₃, NO₂ и т.д.

Если эти оксиды вступают в реакцию с водой (также в виде тумана), образуются кислоты, раздражающие слизистую и частично способные вызвать поражение лёгких.

Общее наблюдение за состоянием окружающей среды осуществляют территориальные органы Росгидромета, которые включают инспекции по контролю атмосферы, гидросферы, почвы и за работой газоочистных и пылеулавливающих установок. Локальный санитарно-токсический мониторинг реализуется в городах и населенных пунктах, на автодорогах и на отдельных предприятиях. Правила контроля состояния окружающей среды установлены стандартами системы стандартов «Охрана природы». [44] формулирует правила контроля качества воздуха населенных пунктов.

Организация контроля состояния окружающей среды в регионах возложена на местные органы Государственного комитета РФ по охране окружающей среды. Ведется контроль атмосферы, гидросферы и почв вблизи транспортных магистралей и предприятий.

4.10 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Мероприятия, проводимые во время чрезвычайных ситуаций (аварий, стихийных бедствий, военных конфликтов), представляют собой проведение спасательных работ и неотложных аварийно-восстановительных работ в очаге поражения. Данные мероприятия должны проводиться на основании положения комплекса государственных стандартов по предупреждению и ликвидации чрезвычайной ситуации и определены в [45].

Чрезвычайные ситуации могут сложиться в результате следующих нарушений: прекращение подачи сырья; остановка газовых нагнетателей; остановка воздушных нагнетателей; прекращение подачи воды; прекращение подачи электроэнергии; нарушение герметичности соединений трубопроводов, аппаратов или их разрыв; неисправность средств контроля и автоматики.

При возникновении аварийной ситуации технологический персонал должен немедленно сообщить об аварийной ситуации диспетчеру, начальнику установки и принять соответствующие меры по ликвидации

аварии, руководствуясь "Планом локализации аварийных ситуаций" (ПЛАС).

Во избежание отравления ядовитыми парами необходимо воспользоваться противогазами, которые находятся на видном месте рабочего помещения.

Для исключения возможности несчастных случаев должны проводиться обучение и проверка знаний работников, требований безопасности труда в соответствии с [46].

Типичной ЧС для нефтехимического производства является пожар, это обуславливается широким спектром горючих веществ, используемых в производстве.

Ликвидация последствий чрезвычайной ситуации

Спасательные и другие неотложные работы в очагах поражения включают:

- разведку очага поражения, в результате которой получают истинные данные о сложившейся обстановке, определяют объемы работ, уточняют способы ведения спасательных и аварийных работ, разрабатывают план ликвидации последствий ЧС;
- поиск и освобождение из-под завалов пострадавших; эвакуацию людей из опасных зон и оказание им первой медицинской помощи;
- локализацию и тушение пожара;
- санитарную обработку людей, обеззараживание транспорта, технических систем, зданий, сооружений и промышленных объектов;
- неотложные аварийно-восстановительные работы на промышленных объектах.

Для проведения спасательных работ планируется проведение ряда неотложных мероприятий:

- устройство проездов в завалах и загрязненных участках; оборудование временных путей движения транспорта;

- локализация аварий на сети коммунально-энергетических систем;
- восстановление отдельных участков энергетических и водопроводных сетей сооружений;
- укрепление или обрушение зданий и сооружений, препятствующих безопасному проведению спасательных работ.

Выполнение спасательных и других неотложных работ проводится специально обученными спасательными формированиями из числа работников промышленного объекта (подразделения гражданской обороны объекта).

В случае необходимости (выброс в окружающую среду радиоактивных или токсичных химических веществ, а также бактериологических агентов) проводят специальную обработку, состоящую из обеззараживания и санитарной обработки.

Готовность предприятия к выполнению неотложных аварийно-восстановительных работ оценивается наличием проектно-технической документации по вариантам восстановления, обеспеченностью силами и материальными ресурсами. Методика проведения восстановительных работ изложена в [47].

Средства индивидуальной защиты. На ряде предприятий существуют такие виды работ или условия труда, при которых работающий может получить травму или иное воздействие, опасное для здоровья. Еще более опасные условия для людей могут возникнуть при авариях и при ликвидации их последствий. В этих случаях для защиты человека необходимо применять средства индивидуальной защиты. Их использование должно обеспечивать максимальную безопасность, а неудобства, связанные с их применением, должны быть сведены к минимуму. Номенклатура СИЗ включает обширный перечень средств, применяемых в производственных условиях (СИЗ повседневного использования), а также средств, используемых в чрезвычайных ситуациях (СИЗ кратковременного использования). В

последних случаях применяют преимущественно изолирующие средства индивидуальной защиты (ИСИЗ).

4.11 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с Конституцией Российской Федерации каждый человек имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены, и право на охрану здоровья. А в соответствии с п. 5 Генерального соглашения между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 - 2016 годы обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности является одним из национальных приоритетов в целях сохранения человеческого капитала и рассматриваются в неразрывной связи с решением задач по улучшению условий и охраны труда, промышленной и экологической безопасности.

Правильное расположение и компоновка рабочего места, обеспечение удобной позы и свободы трудовых движений, использование оборудования, отвечающего требованиям эргономики и инженерной психологии, обеспечивают наиболее эффективный трудовой процесс, уменьшают утомляемость и предотвращают опасность возникновения профессиональных заболеваний.

Оптимальная поза человека в процессе трудовой деятельности обеспечивает высокую работоспособность и производительность труда. Неправильное положение тела на рабочем месте приводит к быстрому возникновению статической усталости, снижению качества и скорости выполняемой работы, а также снижению реакции на опасности. Нормальной рабочей позой следует считать такую, при которой работнику не требуется наклоняться вперед больше чем на 10...15°; наклоны назад и в стороны нежелательны; основное требование к рабочей позе – прямая осанка.

Работая стоя целесообразнее при необходимости постоянных передвижений, связанных с настройкой и наладкой оборудования. Она создает максимальные возможности для обзора и свободных движений.

При организации производственного процесса следует учитывать антропометрические и психофизиологические особенности человека, его возможности в отношении величины усилий, темпа и ритма выполняемых операций, а также анатомо-физиологические различия между мужчинами и женщинами.

Существенное влияние на работоспособность оператора оказывает правильный выбор типа и размещения органов и пультов управления машинами и механизмами. При компоновке постов и пультов управления необходимо знать, что в горизонтальной плоскости зона обзора без поворота головы составляет 120° , с поворотом – 225° ; оптимальный угол обзора по горизонтали без поворота головы – $30\text{--}40^\circ$ (допустимый 60°), с поворотом – 130° . Допустимый угол обзора по горизонтали оси зрения составляет 130° , оптимальный -30° вверх и 40° вниз.

Приборные панели следует располагать так, чтобы плоскости лицевых частей индикаторов были перпендикулярны линиям взора оператора, а необходимые органы управления находились в пределах досягаемости. Наиболее важные органы управления следует располагать спереди и справа от оператора.

Для лучшего различения органов управления они должны быть разными по форме и размеру, окрашиваться в разные цвета либо иметь маркировку или соответствующие надписи. При группировке нескольких рычагов в одном месте необходимо, чтобы их рукоятки имели различную форму. Это позволяет оператору различать их на ощупь и переключать рычаги, не отрывая глаз от работы.

Заключение

В результате проделанного исследования был изучен процесс подготовки природного газа по технологии низкотемпературной сепарации. Были изучены основные закономерности данного процесса.

Для математического описания технологии были рассмотрены основные методы расчета протекающих процессов, из которых был создан математический аппарат, способный описывать технологию подготовки газа. На основе данного аппарата была разработана имитационная динамическая модель процесса низкотемпературной сепарации, работающая в динамическом режиме.

Выводы:

1. Разработанная имитационная динамическая модель способна отображать переходные процессы в условиях динамического режима.
 2. Показана зависимость изменения основных параметров системы при совершении над ней основных регулирующих воздействий.
 3. Проанализированы скорости закрытия регулирующих клапанов, которые были равны 0,5, 0,1, 0,01, 0,001 %/с. Приемлемой скоростью можно считать 0,01 %/с.
 4. Были рассмотрены одни из основных факторов, влияющих на эффективность процесса: точка росы, расход, давление и температура.
- Так, например, при закрытии регулирующего клапана перед сепаратором третьей ступени точка росы уменьшалась, где достигла своего минимума при минус 20,3186 °С со скоростью закрытия клапана 0,5 %/с. Также уменьшился расход, снизилось давление до максимального значения 6770582 Па и снизилась температура до минус 13,59 °С.

Список используемых источников

1. gazopererabotka-eto-prosto [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gazsurf.com/ru/gazopererabotka/stati/item/gazopererabotka-eto-prosto>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Кокин А.В., Кокин В.Н. Природные ресурсы мировой экономики. Состояние, тенденции, правовые аспекты. М., 2003 г., с. 216
3. Тараканов Г. В., Мановян А. К. Основы технологии природного газа и конденсата. АГТУ, 2010 г., с. 192
4. Голд Т. Происхождение природного газа и нефти. ЖВХО им. Д. И. Менделеева. 1986, т.31, No5, с.547-556.
5. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа Изд.2, 2001 г., 568 с.
6. Макогон Ю.Ф. , Саркисянц Г.А. Предупреждение образования гидратов при добыче и транспорте газа. М.: Недра, 1966. – с.186
7. Fleisch T.H., Sills R.A., Briscoe M.D. 2002 – Emergence of the gas-to-liquid industry: a review of global GTL developments. J.Nat.GasChem. 2002, v.11, No 1-2, p.1-14.
8. Николаев В.В. Основные процессы физической и физико-химической переработки газа, 1998 г., с. 184
9. Spletter K.G. US gas-processing profitability statistics. Oil & Gas J. 2001, May 21, p.54-60.
10. Коршак А.А. Основы нефтегазового дела, 1999г., 134 с.
11. Alain Lepage – Petroleum project management, TPA training course at ASTU
12. Куличихин В.В. Современное состояние применения турбодетандеров на газопотребляющих промышленных объектах / Куличихин В.В., Лазарева О.О. // Новости теплоснабжения. - 2010. - № 10. - С. 28-30
13. Вержичинская С. В., Химия и технология нефти и газа: учебное пособие. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. — 400 с.: ил.

14. The Properties of Gases and Liquids, 3rd Edition, R.C. Reid, J.M. Prausnitz, T.K. Sherwood, McGraw Hill Book Company (1981).
15. G. Soave, Improvement of the Van Der Waals Equation of State, Chem. Eng. Sci., Vol. 39, No 2, 1984, pp. 357-369.
16. D. Peng, D.B. Robinson. A New Two-Constant Equation of State. Ind. Eng. Chem., Fundam., Vol. 15, No. 1, 1976, pp. 59-64
17. Баталин О.Ю., Брусиловский А.И., Захаров М.Ю. Фазовые равновесия в системах природных углеводородов. - М., Недра, 1992, с. 272
18. AspenTech [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aspentech.com/>, свободный. – Загл. с экрана.
19. Simsci-esscor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.simsci-esscor.com>, свободный. – Загл. с экрана.
20. Gibbsim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gibbsim.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
21. Bruce E. Poling, John M. Prausnitz: The Properties of Gases and Liquids, Fifth Edition / McGraw-Hill Professional., 2000. – 768 p
22. В.Г. Левич. Курс Теоретической Физики. Том.1. Издание второе переработанное. "Наука". М. 1969 г.-с. 324
23. Studopedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://studopedia.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
24. Kasatkin A. G. Basic processes and apparatuses of chemical technology: textbook for universities / A. G. Kasatkin. — 15-e Izd., revised. — M: Alliance, 2009. — 750 S.
25. Siebert A. G. improvement of the separation equipment based on the phase state of gas-liquid mixture / Zibert A. G., Zibert G. K. // natural Gas industry 2010. – No. 4. – P. 49-52.
26. Flow Equations for Sizing Control Valves, standard, ISA-75.01.01-2007 (60534-2-1 Mod)
27. Писарев М.О. Моделирование режимов работы аппаратов установки подготовки газа и газового конденсата в технологии

- низкотемпературной сепарации / Писарев М.О., Долганов И.М., Ивашкина Е.Н. // Нефтегазовое дело 2014 №3, стр. 187-206.
28. Широкова Г.С. Аспекты получения жидкой углеводородной продукции в ракурсе обязательной утилизации попутного нефтяного газа / Широкова Г.С., Елистратов М. В. // Газовая промышленность 2010 №4 стр. 57-62.
29. Skoblo A. I., Molokanov, Y. K., and others. Processes and equipment for oil & gas and petrochemical industry: Textbook for universities. - M.: Russian state University of oil and gas named after I. M. Gubkin, 2012. -725 S.
30. Bukin, A. V. Development and experience of operation of the main technological equipment for the preparation for transportation of gas of achimovsky horizons / Bukin, A. V., Panin V. V., Vlasov S. P. // natural Gas industry 2011 No. 11, p. 23-26.
31. Чеботарев В.В. Расчеты основных технологических процессов при сборе и подготовке скважинной продукции Учебное пособие. 2-е изд. – Уфа, УГНТУ, 2001г.
32. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 28.12.2013): принят Государственной Думой 21 дек. 2001 г. // Российская газета. – 2001. – 31 декабря. – 144 с.
33. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 - 2016 годы от 25 декабря 2013 г., 14 с.
34. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон Российской Федерации N 426-ФЗ от 28 декабря 2013 г.: // Российская газета – 2013. – 30 декабря. – 3 с.
35. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы: санитарно-эпидемиологические правила СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом

- Российской Федерации 30 мая 2003 // Постановление о введении. – 2003. – 3 июня. – 18 с.
- 36.Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 28.12.2013): принят Государственной Думой
- 37.21 дек. 2001 г. // Российская газета. – 2001. – 31 декабря. – 144 с.77. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы СанПиН 2.2.2.542-96 утвержден Госкомсанэпиднадзора России от 14 июля 1996 г // Официальное издание. – 1996. – 27 с.
- 38.Упражнения для глаз и тела при работе с компьютером [Электронный ресурс] / Соло на клавиатуре. – Электрон. дан. –ООО «ЭргоСоло», 2014. URL: http://ergosolo.ru/reviews/health/office_exercises/, свободный. – Загл. с экрана. – Яз.рус. Дата обращения: 25.04.2015 г.
39. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: санитарные нормы СП 2.2.4/2.1.8.562-96: утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 // Официальное издание. – 1996. – 21 с.
- 40.Естественное и искусственное освещение: строительные нормы и правила СНиП 23-05-95: приняты постановлением Минстроя России от 2 августа 1995 // Официальное издание. – 1995. – 35 с.
- 41.Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03: утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 6 апреля 2003 // Постановление о введении в действие. – 2003. – 23 апреля – 26 с.
- 42.Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.548-96: утверждены Постановлением

- Госкомсанэпиднадзора РФ 1 октября 1996 // Российская газета. 1996. – 1 октября. – 3 с.
- 43.ГОСТ Р 55710-2013. Освещенность рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.
- 44.СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемические требования к физическим факторам на рабочих местах.
- 45.ГОСТ 12.1.005.83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением № 1).
- 46.СНиП 3223-85. Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах.
- 47.ГОСТ 12.1.012-78. Вибрация. Общие требования безопасности.
- 48.ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума.
- 49.ГОСТ Р 12.1.009-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Термины и определения.
- 50.ГОСТ 12.1.019. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 51.НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.
- 52.ГОСТ 17.2.3.01–86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов.
- 53.ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения [Текст]. - введ. 01.01.1995.- М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.
- 54.ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
- 55.СН-440-72. Нормы продолжительности строительства предприятий, зданий и сооружений.

56.Евсеева Н.С., Ромашова Т.В. // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – №353. – с. 199–204.

Список публикаций

- 1) Хосоенова Р. Ф. , Чиркина Н. А. Расчет показателей работы установки низкотемпературной сепарации газа с использованием имитационной динамической модели // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П.Кулева, посвященной 120-летию Томского политехнического университета, Томск, 17-20 Мая 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - С. 394-395;
- 2) Долганов И. М. , Хосоенова Р. Ф. , Чиркина Н. А. Исследование процесса низкотемпературной сепарации газа на математической модели // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, Томск, 29 Мая-1 Июня 2017. - Томск: Изд-во ТПУ, 2017 - С. 297-298

Приложение А

Таблица А 1.1 – требования к качеству товарного природного газа,
подаваемого в газопроводы

Показатель	Климатический район			
	умеренный		холодный	
	л	з	л	з
Точка росы, °С, не выше:				
- по влаге	0	-5	-10	-20
-по углеводородам	0	0	-5	-10
Содержание кислорода, % об., не более	1,0	1,0	1,0	1,0
- сероводорода	0,02	0,02	0,02	0,02
- серы тиоловой	0,036	0,036	0,036	0,036
- механических примесей	0,003	0,003	0,003	0,003

Примечание: л – летний период (с 1 мая по 30 сентября); з – зимний период (с 1 октября по 30 апреля).

Номограмма 1 – Графические зависимости к расчету возможности образования гидратов

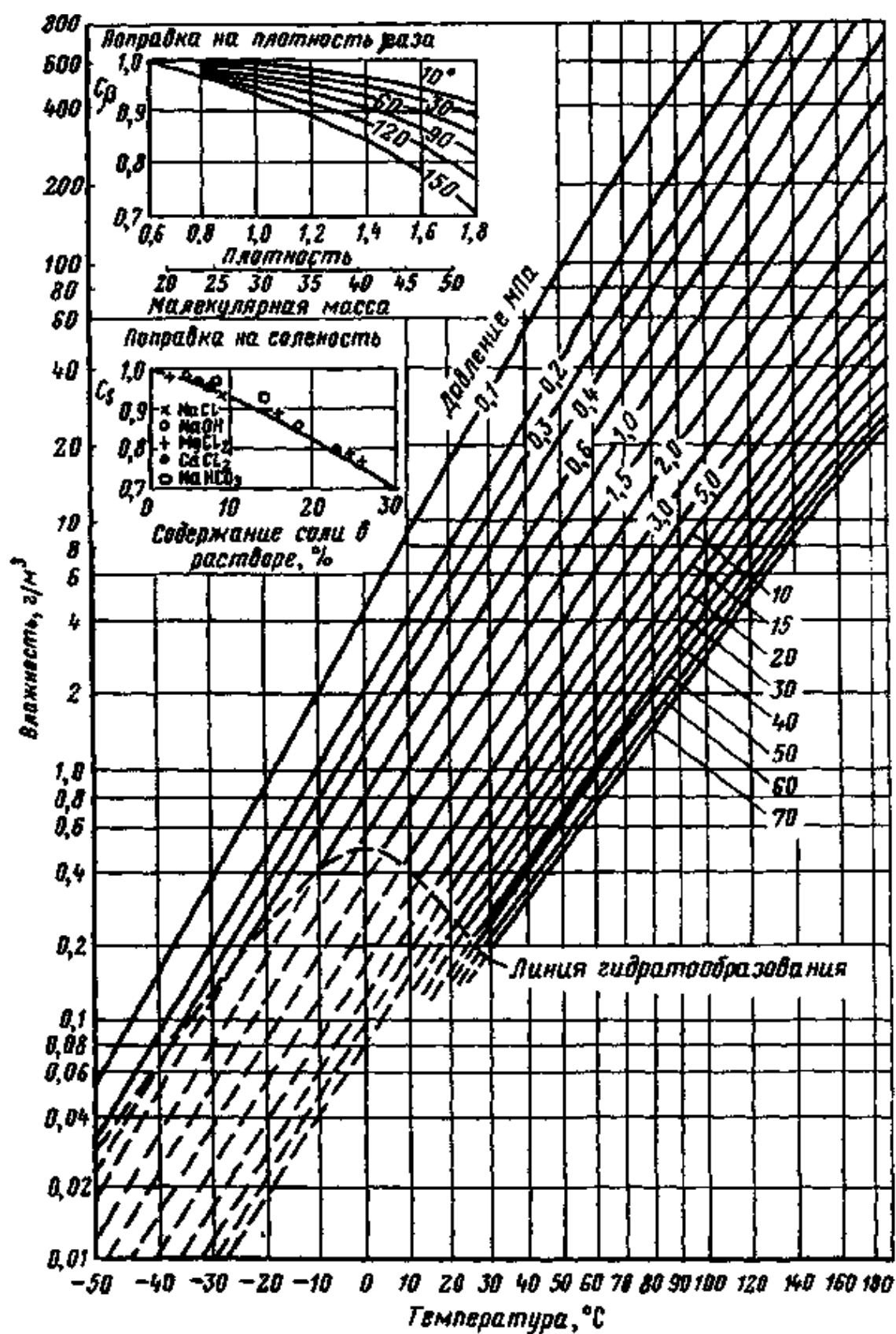


Рисунок 1 – Зависимости для определения равновесных условий начала образования гидратов для природных газов разной относительной плотности

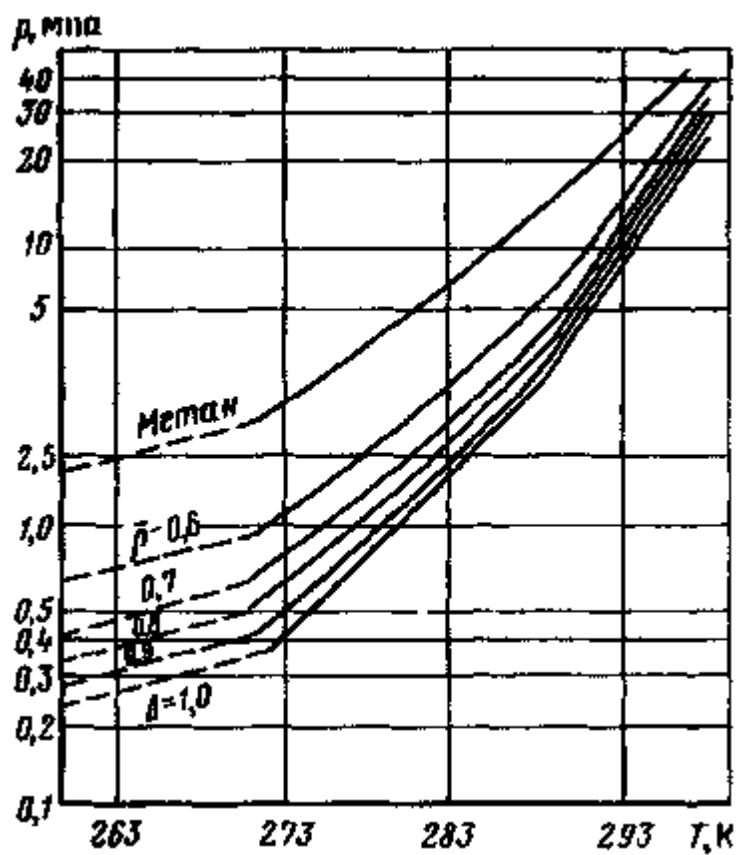
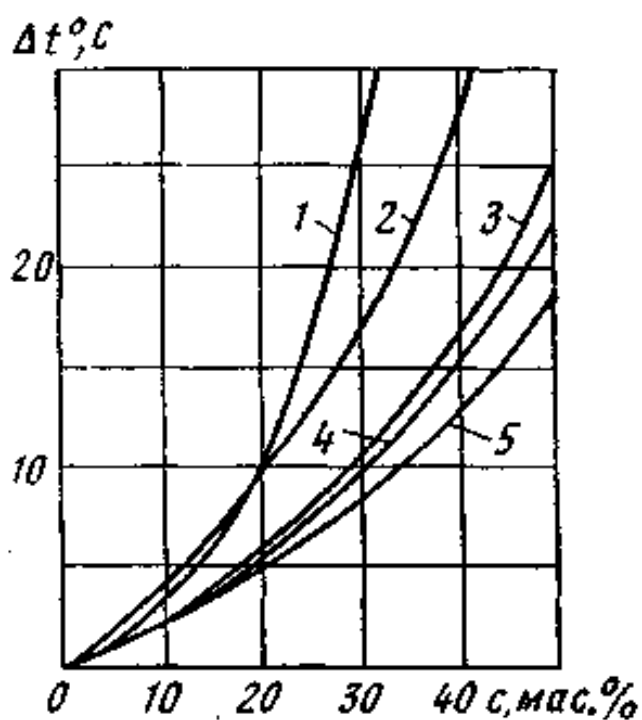


График 1 – Снижение температуры гидратообразования в зависимости от кон-центрации отработанного ингибитора:

1 — CaCl_2 ; 2 — CH_3OH ; 3 — ТЭГ; 4 — ДЭГ; 5 — ЭГ



Приложение Б

Таблица 2 – значения ТТР в зависимости от влагосодержания и давления.

WГ , мг/ м³	ТТР по Р=3	ТТР по Р=4	ТТР по Р=5	ТТР по Р=6	ТТР по Р=7	ТТР по Р=8	ТТР по Р=9	ТТР по Р=10
5	35,89 0048	32,861 0785	30,452 3983	28,444 5722	26,7182 4566	25,2010 2705	23,8455 8217	22,6192 0507
10	31,72 8452	28,565 9519	26,046 0306	23,942 0103	22,1304 3262	20,5363 326	19,1106 4598	17,8194 4218
15	30,35 3099	27,090 5527	24,487 2854	22,311 1929	20,4357 418	18,7840 3936	17,3057 25	15,9659 5062
20	30,27 8321	26,934 9709	24,264 3882	22,030 0857	20,1030 4657	18,4048 2086	16,8840 0109	15,5049 981
25	30,98 9368	27,577 7285	24,850 2557	22,566 7583	20,5961 2069	18,8585 7687	17,3018 346	15,8896 7844
30	32,23 9684	28,768 6073	25,991 6191	23,665 3042	21,6567 1979	19,8849 5477	18,2969 4672	16,8559 3511

35	33,88 9648	30,365 7639	27,544 7833	25,180 4266	23,1381 2803	21,3359 5882	19,7201 7235	18,2535 2381
40	35,85 1475	32,279 9555	29,419 291	27,020 6183	24,9479 0746	23,1183 1177	21,4774 6745	19,9876 928
45	38,06 5843	34,450 8483	31,553 9659	29,123 9742	27,0235 0719	25,1688 8039	23,5051 667	21,9942 8571
50	40,49 0486	36,835 4439	33,905 1989	31,446 3574	29,3203 2252	27,4426 3803	25,7578 5797	24,2275 3465
55	43,09 4046	39,401 8349	36,440 6251	33,955 0073	31,8052 4215	29,9061 5717	28,2018 2482	26,6534 5653
60	45,85 25	42,125 5753	39,135 446	36,624 8206	34,4528 9264	32,5338 2076	30,8112 2763	29,2460 0631
65	48,74 6961	44,987 4439	41,970 1628	39,436 0582	37,2433 2208	35,3054 8492	33,5657 4712	31,9847 0283
70	51,76 2256	47,972 0004	44,929 1119	42,372 8638	40,1605 0314	38,2049 6815	36,4490 6093	34,8530 9377
75	54,88 5975	51,066 6157	47,999 4824	45,422 2689	43,1913 2781	41,2190 366	39,4478 2028	37,8377 2421
80	58,10 7808	54,260 8005	51,170 6341	48,573 503	46,3249 102	44,3367 0026	42,5509 3999	40,9274 2118

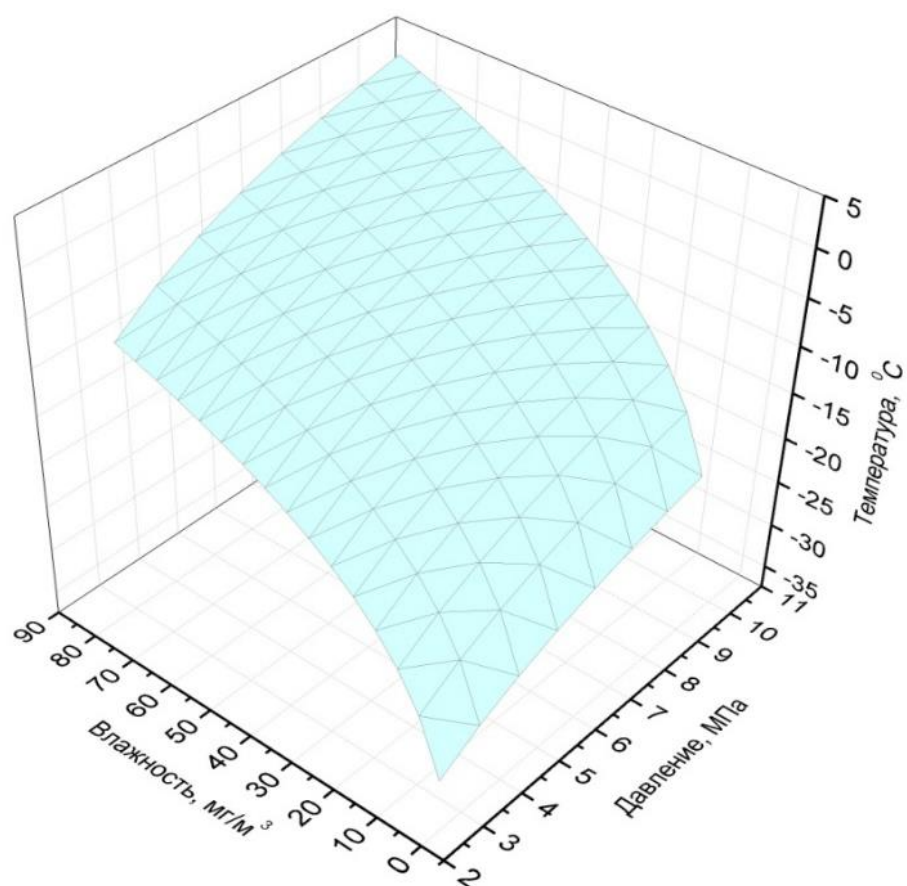
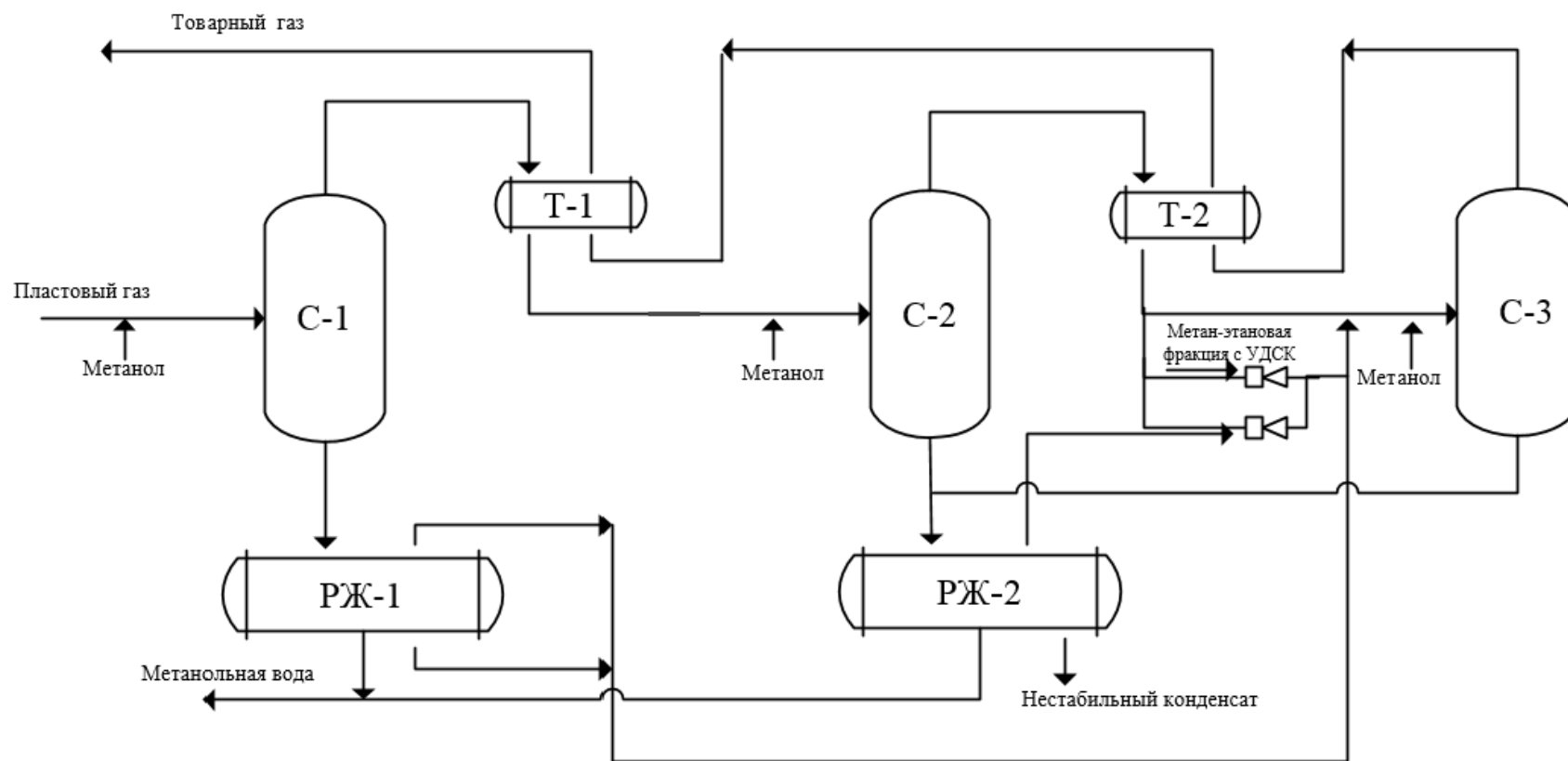


График 2 – Изменение значений ТТР по воде

Рисунок Б 1. – Структурная схема основных потоков



С – 1, С – 2, С – 3 – сепараторы; Т – 1, Т – 2 – теплообменники; РЖ – 1, РЖ – 2 – разделители жидкости;

Рисунок В 1. - Технологическая схема

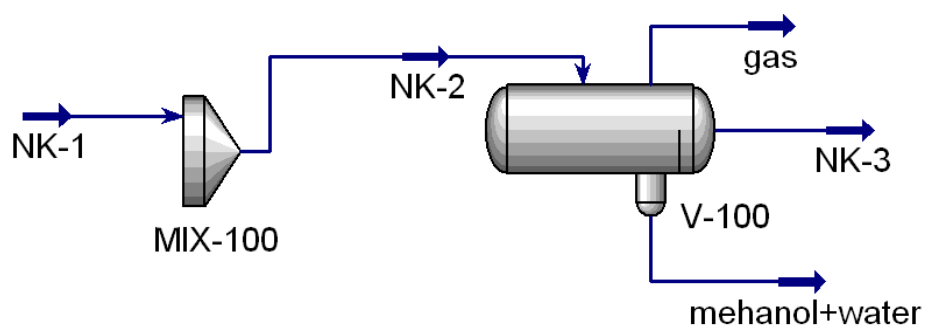


Рисунок В 2. - Состав газового и водяного потока

3 Phase Separator: V-100					
Worksheet					
	Name	NK-2	NK-3	gas	mehanol+water
Conditions	Vapour	0.4600	0.0000	1.0000	0.0000
Properties	Temperature [C]	20.00	20.00	20.00	20.00
Composition	Pressure [kPa]	300.0	300.0	300.0	300.0
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	1200	453.0	551.8	194.7
	Mass Flow [kg/h]	5.680e+004	3.132e+004	2.114e+004	4332
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	98.89	50.30	43.77	4.819
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1.574e+005	-1.727e+005	-1.034e+005	-2.748e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	115.0	83.06	166.7	42.83
	Heat Flow [kJ/h]	-1.888e+008	-7.825e+007	-5.705e+007	-5.351e+007

Рисунок В 3. - Эскиз конструкции трехфазного сепаратора

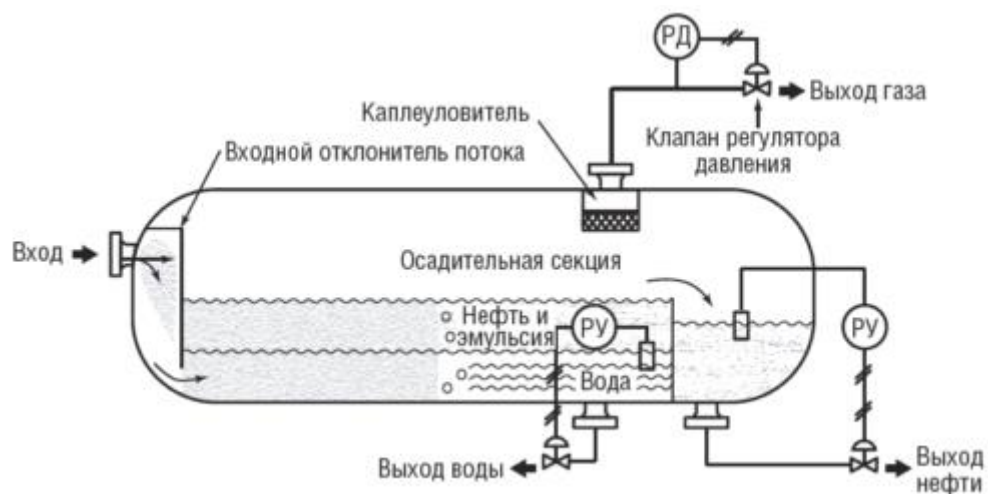


Рисунок В 4. – Чертеж общего вида трехфазного сепаратора

